



**Universidad Autónoma de Chiapas  
Facultad de Ingeniería**

**APUNTES PARA LA MATERIA DE PROCESOS  
BIOLÓGICOS**

**“TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS APLICADOS A LAS  
AGUAS RESIDUALES”**

**Instructor: Dr. Hugo A. Guillén Trujillo**

## **Introducción general**

El agua que es usada en la sociedad, es cambiada su calidad por lo que se requiere de tratamientos primarios, secundarios y terciarios para devolverle la calidad adecuada para su descarga en los cuerpos receptores. Un sistema de tratamiento del agua son los llamados biológicos. Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y la eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso del agua residual doméstica, el principal objetivo es la reducción de la materia orgánica presente y, en otros casos, la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, éste último caso, es el agua de usos agrícolas en donde es necesario eliminar estos nutrientes para evitar el crecimiento de plantas acuáticas. Para agua de usos industriales el objetivo es la reducción de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, que regularmente es necesario un tratamiento previo debido a la toxicidad de estos compuestos hacia los organismos.

## **Objetivos**

- 1) Proporcionar al estudiante información relevante sobre el tratamiento biológico del agua residual.
- 2) Identificar y conocer los diferentes sistemas para el tratamiento biológico de las aguas residuales.
- 3) Conocer las ecuaciones de diseño e ilustrar el uso de las mismas a través de algunos ejemplos.

## **Contenido.**

### **TRATAMIENTO BIOLÓGICOS APLICADOS A LAS AGUAS RESIDUALES**

1. Generalidades
2. Lodos activados
3. Lagunas aireadas
4. Filtros Percoladores
5. Sistemas biológicos rotativos de contacto (biodiscos)
6. Procesos de tratamiento anaerobios de cultivos en suspensión

## 1. Generalidades

Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y la eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso del agua residual doméstica, el principal objetivo es la reducción de la materia orgánica presente y, en otros casos, la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, éste último caso, es el agua de usos agrícolas en donde es necesario eliminar estos nutrientes para evitar el crecimiento de plantas acuáticas. Para agua de usos industriales el objetivo es la reducción de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, que regularmente es necesario un tratamiento previo debido a la toxicidad de estos compuestos hacia los organismos.

### Tratamientos biológicos

Antes de describir los tipos de tratamiento biológico es importante definir y familiarizarse con algunos términos.

Procesos aerobios. Son los procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno.

Procesos anaerobios. Son los procesos de tratamiento biológico que se dan en ausencia de oxígeno.

Desnitrificación anóxica. Es el proceso por el cual el nitrógeno de los nitratos se transforma biológicamente, en nitrógeno gas en ausencia de oxígeno, también se le llama desnitrificación anaerobia.

Eliminación biológica de nutrientes. Consiste en la eliminación de nitrógeno y fósforo mediante procesos de tratamiento biológico.

Procesos facultativos. Son los procesos de tratamiento biológico en los que los organismos responsables pueden funcionar en ausencia o presencia de oxígeno molecular, éstos organismos se llaman organismos facultativos.

Eliminación de la DBO Carbonosa. Es la conversión biológica de la materia carbonosa del agua residual en tejido celular y diversos productos gaseosos. En esta conversión el nitrógeno de diferentes compuestos se supone se convierte en amoníaco.

Nitrificación. Es el proceso biológico mediante el cual el amoníaco se transforma primero, en nitrito y después en nitrato.

Desnitrificación. En este proceso el nitrato se convierte en nitrógeno gas y otros productos gaseosos.

Substrato. Representa la materia orgánica o los nutrientes que sufren una conversión o que pueden constituir un factor limitante en el tratamiento biológico.

Proceso de cultivo en suspensión. Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular, se mantienen en suspensión dentro de un líquido.

Procesos de cultivo fijo. Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular están fijos a un medio inerte, tal como piedras, escorias o materiales cerámicos y plásticos especialmente diseñados para cumplir esta función. También son llamados procesos de película fija.

Existen cinco grupos principales de tratamiento biológico (Tabla 1):

- 1) Procesos aerobios
- 2) Procesos anaerobios
- 3) Procesos anóxicos
- 4) Procesos anóxicos combinados
- 5) Procesos de lagunaje

Los procesos individuales se pueden dividir, a su vez, dependiendo si el tratamiento se lleva a cabo en sistemas de cultivo en suspensión, en sistemas de cultivo fijo, o en sistemas resultantes de la combinación de ambos.

El proceso de tratamiento biológico consiste en el control del medio ambiente de los microorganismos, de modo que consigan condiciones de crecimiento óptimas.

Las aplicaciones de los procesos de tratamiento biológicos son: 1) eliminación de materia orgánica carbonosa orgánica del agua residual como DBO, carbono orgánico total (COT) o demanda química oxígeno (DQO); 2) nitrificación; 3) desnitrificación, 4) eliminación de fósforo y 5) estabilización de fangos.

Tabla 1 Principales procesos biológicos utilizados en el tratamiento de agua residual.

Tipo	Nombre común	Aplicación
Procesos aerobios -Cultivos en suspensión	Procesos de fangos activados -Convencional(flujo en pistón) -Mezcla completa -Aireación graduada -Oxígeno puro -Reactor intermitente secuencial -Contacto y estabilización -Aireación prolongada -Canales de oxidación -Tanques profundos (30.0) -Deep shaft	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Nitrificación de cultivos en suspensión Lagunas aireadas Digestión aerobia -Aire convencional -Oxígeno puro	Nitrificación  Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación) Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa
-Cultivo fijo	Filtros percoladores Baja carga Alta carga	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Filtros de desbaste	
	Sistema biológicos rotativos de contacto (RBC)	
	Reactores de lecho compacto	
-Procesos combinados	Biofiltros activados -Filtros percoladores con contacto de sólidos, procesos de fangos activados con biofiltros, proceso de filtros percoladores y fangos activados en serie	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
Procesos Anóxicos Cultivo en suspensión	Desnitrificación con cultivo en suspensión	Desnitrificación

Cultivo fijo	Desnitrificación de película fija	Desnitrificación
Procesos anaerobios		
Cultivo en suspensión	Digestión anaerobia Baja carga, una etapa Alta carga, una etapa Doble etapa	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa
	Proceso anaerobio de contacto	Eliminación de la DBO carbonosa
	Manto de fango anaerobio de flujo ascendente	Eliminación de la DBO carbonosa
Cultivo fijo	Filtro anaerobio	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización de residuos(desnitrificación)
	Lecho expandido	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización de residuos
Procesos anaerobios, anóxicos o aerobios combinados		
Cultivos de suspensión	Proceso de una o varias etapas, múltiples procesos patentados	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación y eliminación de fósforo
Procesos combinados: Cultivo fijo y en suspensión	Procesos de una o varias etapas	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación y eliminación de fósforo
Procesos en estanques	Lagunas aerobias Estanques de maduración (terciarios) Estanques facultativos Estanques anaerobios	Eliminación de la DBO carbonosa

Fuente: Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales, Tratamiento, vertido y reutilización*. Tomo 1. Mc Graw Hill. Tercera edición. México 1997. México, 2000.

## 2. Lodos activados

Este proceso fue desarrollado en Inglaterra por Arden y Lockett y su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. El proceso se describe según la Figura 1.

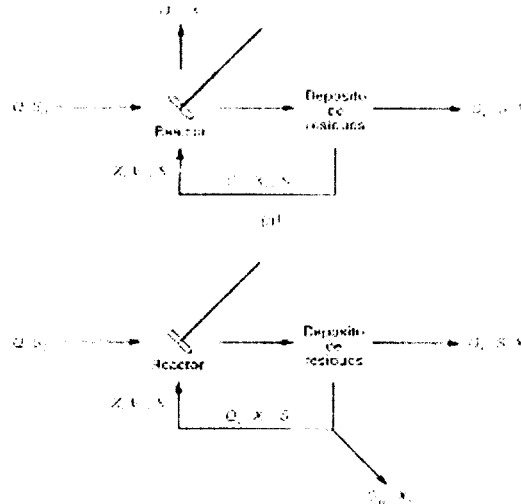
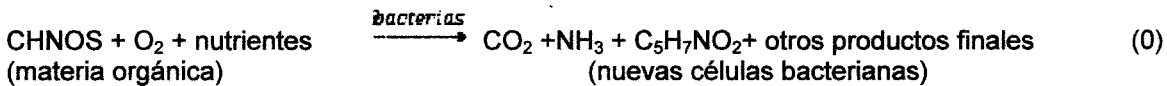


Fig. 1 Esquema de un reactor de mezcla completa con recirculación celular y purga: (a) desde el reactor, y b) desde la línea de recirculación.

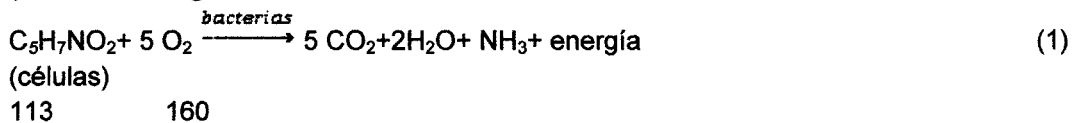
Fuente: Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales, Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo 1. Mc Graw Hill. Tercera edición. México 1997.. México, 2000.

El residuo orgánico se introduce en un reactor, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se conoce como "líquido mezcla". Se llevan a cabo las dos reacciones siguientes:

### 1. Oxidación y síntesis:



### 2 Respiración endógena



1,42

En estas ecuaciones CHONS representa la materia orgánica del agua residual. En esta última ecuación se puede observar que si todas las células se oxidan por completo, la DBO última de las células equivale a 1,42 veces el valor de la concentración de células. El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante difusores o aireadores mecánicos, que a su vez mantienen agitado el líquido mezcla. Después de un tiempo las células viejas se conducen a un tanque de sedimentación para la separación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseadas, mientras que la otra parte se purga del sistema. El nivel al que se debe mantener la masa biológica depende de la eficacia deseada en el tratamiento y de otras consideraciones relacionadas con la cinética del crecimiento.

### **Microbiología del proceso**

En el reactor las bacterias aerobias o facultativas utilizan parte de la materia orgánica del agua residual para obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en forma de células nuevas. En realidad solo una parte del residuo original se oxida a compuestos de bajo contenido energético tales como  $\text{NO}_3^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  o el  $\text{CO}_2$ , el resto se sintetiza en forma de materia celular.

Las bacterias que intervienen en el proceso de lodos activados incluyen los géneros *Pseudomonas*, *Zookea*, *Achromobacter*, *flavobacterium*, *Nocradia*, *Bdellovibrio*, *Mycobacterium* y las dos bacterias nitrificantes más comunes los Nitrosomas y las Nitrobacter. Pueden encontrarse también formas filamentosas como *Sphaerotilus*, *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Lecicothrix* y *Geotrichum*. Además existen otros que desempeñan un papel importante como los protozoos y rotíferos que ejercen una refinación de los efluentes.

Es importante que las bacterias descompongan la materia orgánica pero también que formen un flóculo adecuado para sedimentar fácilmente y se ha observado que a medida que se aumenta el tiempo de retención celular mejoran las características de sedimentación del flóculo biológico.

### **Análisis del proceso: Reactor de mezcla completa con recirculación**

El líquido del reactor se mezcla completamente, y se supone que el contenido de microorganismos en el agua que entra al reactor es nulo. La unidad de separación de los sólidos (tanque sedimentador) en la que se separan las células del reactor para su posterior recirculación, es una parte integral de este proceso de fangos activados.

Se toman dos premisas para la elaboración del modelo cinético de este sistema:

1. La estabilización de los residuos por parte de microorganismos se produce únicamente en el reactor.
2. El volumen utilizado al calcular el tiempo medio de retención celular del sistema sólo incluye el volumen del reactor.

El tanque de sedimentación sirve como depósito desde el que se recirculan los sólidos para mantener un nivel determinado de estos en el tanque de aereación.

El tiempo medio de retención hidráulica del sistema,  $\theta_s$  se define como:

$$\theta_s = \frac{V_T}{Q} = \frac{V_r + V_s}{Q} \quad (2)$$

Donde:

$V_T$  = volumen del reactor + volumen del tanque de sedimentación.

$Q$  = caudal afluente.

$V_r$  = volumen del reactor.

$V_s$  = volumen del tanque de sedimentación

El tiempo medio de retención hidráulica del reactor,  $\theta$ , se define como:

$$\theta = \frac{V_r}{Q} \quad (3)$$

Donde  $V_r$  es el volumen del reactor.

Par el sistema de la figura 1a, el tiempo medio de retención celular  $\theta_c$ , definido como la masa de microorganismos del reactor dividida por la masa diaria de microorganismos purgada del sistema, viene dada por la siguiente expresión:

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_e X_e} \quad (4)$$

Donde  $Q_w$  =caudal del líquido que contiene las células biológicas que hay que purgar del sistema.

$Q_w$ =caudal del líquido del efluente de la unidad de separación.

$X_e$ =concentración de microorganismos en el efluente de la unidad de separación de sólidos.

Para el sistema de la fig. 5.1 el tiempo medio de retención celular viene dado por:

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_e X_e} \quad (5)$$

Donde  $X_r$ = concentración de microorganismos en la línea de recirculación de fangos.

$Q_w$ = tasa de purga de células desde el caudal de recirculación.

Es conveniente mencionar que a menudo en la literatura el valor de  $\theta_c$  se puede calcular considerando la masa total de microorganismos contenidos, tanto en el reactor como en el tanque de sedimentación.

En relación de la figura 1 se puede escribir un balance de masas para los microorganismos del sistema global de la siguiente manera:

Pendiente

1. Planteamiento general:

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Velocidad} \\ \text{de acumulación} \\ \text{de microorganismos} \\ \text{dentro de los} \\ \text{límites} \\ \text{del sistema} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Cantidad de} \\ \text{microorganismos} \\ \text{que entran} \\ \text{al sistema} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{Cantidad} \\ \text{de microorg.} \\ \text{que salen del} \\ \text{sistema} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Crecimiento} \\ \text{neto de} \\ \text{microorg.} \\ \text{dentro de} \\ \text{los límites} \\ \text{del sistema} \end{array} \right] \quad (6)$$

2. Planteamiento simplificado:

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} \quad (7)$$

3. Expresión simbólica

$$\frac{dX}{dt} V_r = Q X_0 - [Q_w X + Q_e X_e] + V_r (r_g) \quad (8)$$

Sustituyendo en la ecuación 4.11 por la tasa de crecimiento y suponiendo que la concentración de células en el afluente es nula y que prevalecen condiciones estacionarias ( $dx/dt = 0$ ), se obtiene:

$$\frac{Q_w X}{V_r X} + \frac{Q_e X_e}{V_r X} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (9)$$

El término de la izquierda de la ec. 9 representa el inverso del tiempo medio de retención celular definido anteriormente. Empleando la ec. 5 se puede simplificar y reordenar para obtener:

$$\frac{1}{\theta_c} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (10)$$

El término  $r_{su}$  se determina por medio de la siguiente expresión:

$$r_{su} = -\frac{Q}{V_r} (S_0 - S) = -\frac{S_0 - S}{\theta} \quad (11)$$

Dónde  $(S_0 - S)$  = cantidad de substrato utilizada, mg/l.

$S_0$  = concentración de substrato en el afluente, mg/l.

$S$  = Concentración de substrato en el efluente, mg/l.

$\theta$  = tiempo de detención hidráulica, d.



La concentración de microorganismos en el reactor,  $X$ , se puede obtener sustituyendo la Ecuación 11 en la 10 y despejando el valor de  $X$ :

$$X = \frac{\theta_c Y(S_0 - S)}{\theta (1 + k_d \theta_c)} \quad (12)$$

Haciendo un balance del sustrato, se obtiene que la concentración de sustrato en el efluente es:

$$S = \frac{K_S (1 + k_d \theta_c)}{\theta_c (Yk - k_d) - 1} \quad (13)$$

Se desarrolló una ecuación para un reactor de mezcla completa sin recirculación y se muestra a continuación:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_c \text{ o } \theta_{ct}} \quad (14)$$

Existen relaciones para el diseño y control del proceso, una de ellas proviene del término de la ec. 10 ( $-r_{su}/X$ ) se conoce como la tasa de utilización específica del sustrato,  $U$  y se puede calcular:

$$U = -\frac{r_{su}}{X} = \frac{S_0 - S}{\theta_c} = \frac{Q(S_0 - S)}{V_r X} \quad (15)$$

Si se sustituye el término  $U$  por  $(r_{su}/X)$  en la ecuación 5, la ecuación que resulta es:

$$\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d \quad (16)$$

En el sistema de mezcla completa con recirculación, la purga de las células se puede realizar en el conducto de recirculación al reactor o, directamente, del líquido mezcla. Por lo tanto la purga desde el conducto de recirculación precisa el conocimiento de la concentración de microorganismos, tanto en el líquido mezcla como en el fango de recirculación.

Un término que está íntimamente ligado a la tasa de utilización específica,  $U$ , y que se usa habitualmente en la práctica como parámetro de diseño y de control es la relación alimento-microorganismos ( $F/M$ ), que se define como:

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\theta X} \quad (17)$$

Los términos  $U$  y  $(F/M)$  están relacionados por el rendimiento del proceso en la forma:

$$U = \frac{\left(\frac{F}{M}\right)E}{100} \quad (18)$$

Donde  $E$  es el rendimiento del proceso, cuya definición es la siguiente:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad (19)$$

Donde  $E$  = rendimiento del proceso, porcentaje.

$S_0$  = concentración de sustrato en el afluente.

$S$  = concentración de sustrato en el efluente.

Se muestra a continuación un ejemplo de esta aplicación.

**Ejemplo 1. Análisis del proceso de fangos activados.** Se desea tratar un residuo orgánico con una DBO5 soluble de 250 mg/l mediante un proceso de fangos activados de mezcla completa. La DBO5 del efluente debe ser inferior a 20 mg/l. Supóngase que la temperatura es de 20 °C, el caudal es de 0.25 m<sup>3</sup>/s, y que son de aplicación las siguientes condiciones:

1. Los sólidos suspendidos volátiles del afluente al reactor son despreciables.
2. Concentración del fango de retorno = 10 000 mg/l de sólidos en suspensión = 8 000 mg/l de SSV.
3. SSV en el líquido mezcla (SSVLM) = 3 500 mg/l = 0.8 x SSLM totales.

4. Tiempo medio de retención celular:  $\theta_c = 10$  días.
5. Régimen hidráulico del reactor = mezcla completa.  
 $\frac{\text{kilos de célula}}{\text{kg de DBO}_5 \text{ utilizada}} = 0.06 \text{ d}^{-1}$ .
6. Coeficientes cinéticos,  $Y = 0.65 \frac{\text{kilos de DBO}_5 \text{ utilizada}}{\text{kg de célula}} = 0.06 \text{ d}^{-1}$ .
7. Se estima que el efluente contendrá alrededor de 20 mg/l de sólidos biológicos, de los que un 80 % son volátiles y un 65 % son biodegradables. Supóngase que la  $\text{DBO}_5$  de los sólidos biológicos biodegradables se puede obtener multiplicando la DBO última por el factor 0.68 (e.d. el valor de K en la ecuación de a DBO es  $K = 0.1 \text{ d}^{-1}$  (base 10)).
8. El agua residual contiene nitrógeno, fósforo y otros nutrientes a nivel de trazas en cantidades suficientes para el crecimiento biológico.

Solución:

1. Estimar la  $\text{DBO}_5$  soluble del efluente:

$\text{DBO}_5$  del efluente =  $\text{DBO}_5$  soluble del afluente que escapa al tratamiento +  $\text{DBO}_5$  de los sólidos en suspensión del afluente

$$20 = S + 20(0.65)(1.42)(0.68)$$

$$S = 7.4 \text{ mg/l de DBO}_5 \text{ soluble}$$

La eficacia del tratamiento biológico, analizada en términos de  $\text{DBO}_5$  es:

$$E_s = \frac{250 - 7.4}{250} (100) = 97\%$$

La eficacia conjunta de la planta es:

$$E_{\text{conjunta}} = \frac{250 - 20}{250} (100) = 92\%$$

2. Calcular el volumen del reactor. El volumen del reactor se puede determinar empleando la ecuación 8.42 sustituyendo  $V/Q$  por  $\theta$  y reordenando la ecuación de la siguiente manera:

$$XV = \frac{YQ\theta_c(S_0 - S)}{1 + k_d\theta_c}$$

$$\frac{0.65 \left( 21.600 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) (10 \text{ d}) \left( 250 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 7.4 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)}{1 + \left( \frac{0.06}{\text{d}} \right) (10 \text{ d})_{\text{d}}}$$

3. Calcular la masa de fango producido:

- a) La producción observada es:

$$Y_{\text{obs}} = \frac{Y}{1 + k_d\theta_c} = \frac{0.65}{1 + 0.06(10)} = 0.406$$

- b) La producción de biomasa es:

Producción de biomasa,

$$\text{Kg SSV/día} = Y \text{ mg/mg} [(S_0 - S) \text{ mg/l}] [Q \text{ m}^3/\text{s}] [86400 \text{ s/d}] [1/1000 \text{ kg/g}]$$

$$= (0.406)(250 - 7.4)(0.25)(86.400)(1/1.000) = 2.127 \text{ kg SS/d.}$$

4. Cálculo de la biomasa purgada, tanto si se purga del reactor como si se purga de la conducción de recirculación. Es necesario tener en cuenta los sólidos que se pierden en el efluente de la planta. Supóngase también que  $Q_e = Q$  y que los SSV en el efluente son 16 mg/l (0.80 x 20 mg/l).

- a) Determinar el caudal purgado desde el reactor:

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_e X_e}$$

$$\theta_{1c} = ((6.082,3 \text{ m}^3)(3.500 \text{ mg/l})) / ((Q_w \text{ m}^3/d)(3.500 \text{ mg/l}) + (21.600 \text{ m}^3/d)(16 \text{ mg/l}))$$

$$Q_w = 509 \text{ m}^3$$

b) Caudal purgado desde la conducción de retorno:

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_r X_r}$$

$$10 = ((6.082,3)(3500 \text{ mg/l})) / ((Q_w \text{ m}^3/d)(8.000 \text{ mg/l}) + (21.60 \text{ m}^3/d)(16 \text{ mg/l}))$$

$$Q_w = 222.9 \text{ m}^3/d.$$

Nótese que ambos casos, el peso del fango purgado es el mismo (2.127 kg de SSV/d) y que ambos métodos de purga proporcionan un valor de 10 días.

5. Calcular la relación de recirculación haciendo un balance de masa respecto al reactor despreciando los sólidos suspendidos del afluente:

Concentración de SSV en el aireador = 3.500 mg/l

Concentración de SSV en el retorno = 8.000 mg/l

$$3.500(Q+Q_r) = 8.000(Q_r)$$

$$\frac{Q_r}{Q} = R = 0.78$$

6. Calcular el tiempo de detención hidráulica del reactor:

$$\text{TRH} = V/Q = (6.082,3 \text{ m}^3) / (21.600 \text{ m}^3/d) = 0.28 \text{ d} = 6.7 \text{ hr}$$

7. Comprobar la tasa de utilización específica de sustrato y el factor de carga volumétrica:

a) La tasa de utilización específica es:

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X} = \frac{(250 - 7.4 \frac{\text{mg}}{\text{l}})}{0.28 \text{ d} (3.500 \frac{\text{mg}}{\text{l}})} = 0.25 \frac{\text{mg DBO5 utilizados}}{\text{mg SSVLM. d}}$$

b) La relación F/M es:

$$F/M = \frac{S_0}{\theta X} = \frac{(250 \frac{\text{mg}}{\text{l}})}{0.28 \text{ d} (3.500 \frac{\text{mg}}{\text{l}})} = 0.255 \frac{\text{mg DBO5 APLICADA}}{\text{mg SSVLM. d}}$$

c) La carga volumétrica, expresada como kg DBO5/m<sup>3</sup> es:

$$CV = \frac{S_0 \text{ mg} (Q \frac{\text{m}^3}{\text{d}}) \left( \frac{1}{10^6 \text{ kg}} \right) (1.000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3})}{V \text{ m}^3} = 0.887 \text{ kg DBO5} \frac{\text{aplicada}}{\text{m}^3}$$

Comentario: Si no se tiene en cuenta los sólidos del efluente en el momento de calcular el caudal purgado, el valor real del tiempo medio de retención será inferior al valor de proyecto. En este ejemplo, en este ejemplo si se depreciaran los sólidos volátiles del efluente, el tiempo medio de retención celular rondaría los 8.5 días.

### 3 Lagunas aireadas

También denominadas “estanques aireados” se desarrollaron a partir de estanques de estabilización facultativos en los que se instalaron aireadores de superficie para eliminar olores que se producían al estar sometidas a sobrecargas orgánicas.

#### Descripción del proceso

El proceso de lagunaje aireado es esencialmente el mismo que el de fangos activados de aireación prolongada convencional ( $\theta_c = 20$  días), excepto que se usa como reactor un depósito excavado en el terreno. El oxígeno necesario en el proceso se suministra mediante difusores o aireadores superficiales. En una laguna aerobia, la totalidad de los sólidos se mantiene en suspensión. Anteriormente las lagunas se operaban como los sistemas de fangos activados sin recirculación, y solían ir seguidas de grandes estanques de sedimentación. En la actualidad se usan muchas lagunas aireadas completadas con instalaciones de sedimentación e incorporando recirculación de sólidos biológicos.

#### Microbiología del proceso

La microbiología es similar al de fangos activados. Existen algunas diferencias debido a la gran superficie asociada a las lagunas aireadas pueden dar lugar a efectos térmicos más señalados de lo que es normal en el proceso convencional de fangos activados.

En los sistemas de lagunas aireadas es posible el proceso de nitrificación, tanto en forma estacional como en continuo. El grado de nitrificación depende del diseño y de las condiciones de funcionamiento del sistema, así como de la temperatura del agua residual. Generalmente mientras más alta sea la temperatura y menores las cargas (aumento del tiempo de retención) mayor será el grado de nitrificación alcanzable.

#### Análisis del proceso

Se puede analizar como un sistema aerobio de mezcla completa sin recirculación, o bien el procedimiento de lodos activados en recirculación, dependiendo del método de funcionamiento utilizado.

Otro enfoque consiste en suponer que la eliminación de la DBO<sub>5</sub>, tanto la total asociada a la fracción soluble y a los sólidos en suspensión como solamente la soluble, se pueden describir en términos de una función de primer orden ( $r_{su} = -k S$ ) o de cuasi segundo orden ( $r_{su} = -KsX$ ). Las ecuaciones de una laguna aireada única son las siguientes:

Para una cinética de primer orden:

$$\frac{S}{S_0} = \frac{1}{1 + k_1 \left(\frac{V}{Q}\right)} \quad (20)$$

Para cinética de cuasi segundo orden:

$$\frac{S}{S_0} = \frac{1}{1 + k_2 X \left(\frac{V}{Q}\right)} \quad (21)$$

Donde:

S= concentración de DBO<sub>5</sub> del efluente, mg/l.

S<sub>0</sub> = concentración de DBO<sub>5</sub> del afluente, mg/l.

K<sub>1</sub>, k<sub>2</sub>= constante de eliminación global de la DBO<sub>5</sub>, L/mg.d.

V= volumen, m<sup>3</sup>.

Q= caudal, m<sup>3</sup>/día.

X = sólidos en suspensión del líquido mezcla, mg/l.

La ecuación correspondiente, deducida de la consideración de la cinética de eliminación del sustrato soluble dada por la ec. 8 es:

$$\frac{S}{S_0} = \frac{1}{1 + \left[ \frac{kX}{K_s + S} \right] \left( \frac{V}{Q} \right)} \quad (22)$$

### Reactor discontinuo secuencial

Un reactor discontinuo secuencial (SBR) es un tratamiento de fangos activados cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado y vaciado. Los procesos que intervienen son idénticos de un proceso convencional de fangos activados. En ambos sistemas intervienen la aireación y la sedimentación-clarificación. Sin embargo, existe una diferencia, en las plantas convencionales, los procesos se llevan cabo simultáneamente en tanques separados, mientras que en los SBR, los procesos tienen lugar secuencialmente en el mismo tanque.

#### Descripción del proceso

Hasta hoy, todos los SBR tienen en común cinco etapas: 1) llenado, 2) reacción (aireación); 3) sedimentación (clarificación); 4) extracción (vaciado por decantación) y 5) fase iniciativa. Véase la figura (2)

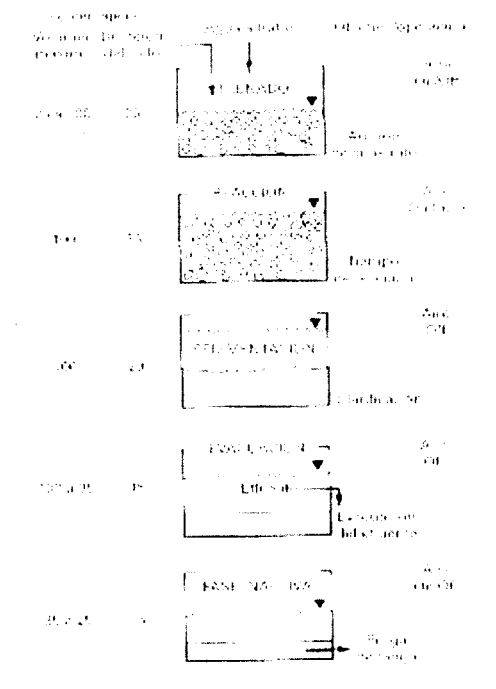


Fig. 2 Secuencia de funcionamiento típica para un reactor discontinuo secuencial

Fuente: Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales, Tratamiento, vertido y reutilización*. Tomo 1. Mc Graw Hill. Tercera edición. México 1997.. México, 2000.

#### Descripción de las etapas:

**Llenado.** El objetivo de esta fase es la adición de sustrato (agua residual bruta) al reactor. Esta fase permite que el nivel del líquido en el depósito ascienda desde cerca del 25 % de la capacidad (al final de la fase iniciativa) hasta el 100 % de su capacidad. Este proceso suele llevarse aproximadamente el 25 % de la duración total del ciclo.

**Reacción.** El propósito de esta fase es que se complementen las reacciones iniciadas durante la fase de llenado. Suele ocupar el 35 % de la duración total del ciclo.

**Sedimentación.** El objetivo de esta fase es permitir la separación de sólidos, para conseguir un sobrenadante clarificado como efluente. En un reactor de este tipo, este proceso suele ser mucho más eficiente que un reactor de flujo continuo debido a que el contenido del reactor está completamente en reposo.

**Vaciado.** El propósito de esta fase es la extracción del agua clarificada del reactor. Actualmente se emplean muchos métodos de decantación, siendo los más empleados los vertederos flotantes o ajustables. El tiempo que se dedica al vaciado puede variar entre el 20 y el 50 % de la duración total del ciclo (entre 15 minutos y dos horas) siendo 45 minutos una duración típica.

**Fase iniciativa.** El objetivo de la fase iniciativa en un sistema de múltiples tanques es permitir que un reactor termine su fase de llenado antes de conectar otra unidad. Puesto que no es una fase necesaria, a veces se omite.

La purga de lodos es otro paso que afecta el funcionamiento de los SBR y repercute en su rendimiento. Los momentos de purga lo definen las necesidades dictadas por los rendimientos. En los SBR, la purga de fangos suele realizarse en la fase de sedimentación o en la de inactividad. Una característica de los SBR es que no necesitan de un retorno de fangos activados (RFA). Debido a que tanto la aireación como la decantación tienen lugar en el mismo tanque, no se pierde cantidad de fango alguna en la fase de reacción y no necesita recirculación de fangos.

### **Digestión aerobia**

La digestión aerobia es un método alternativo de tratar los fangos orgánicos producidos durante el tratamiento. Los digestores aerobios se pueden emplear para el tratamiento de: 1) únicamente fangos activados o de filtros percoladores; 2) mezcla de fangos activados o de filtros percoladores con fangos primarios, o 3) fango biológico en exceso de plantas de tratamiento de fangos activados sin sedimentación primaria. Actualmente se han usado variantes de este proceso; el sistema convencional y el sistema con oxígeno puro, aunque se han empleado digestión aerobia termófila.

