

**CAPITULO 2: DEMANDA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA DE OXIGENO**

1: Una serie de muestras a las cuales se les determinará DBO se preparan de la siguiente manera:

<i>Identificación</i>	<i>Vol. de muestra ml</i>	<i>O.D. Final ppm</i>
Muestra 1	5	1.3
Muestra 2	1	4.2
Muestra 3	10	3.8
Muestra 4	15	0.75
Muestra 5	50	2.6

Como control o blanco se toma agua de dilución y el Oxígeno Disuelto (O.D.) a los cinco días de incubación, al final de la prueba da un valor de 7.9 ppm. En todos los casos el volumen de solución de prueba fue de 300 ml.

Determine en base a la información proporcionada la DBO de cada muestra.

2: Una muestra de agua residual que proviene de una industria debe analizarse por DBO. El pH del agua fluctúa y ocasionalmente es muy ácida, por lo que se considera conveniente inocular o sembrar la muestra de análisis con aguas residuales tomadas de un arroyo cercano donde estas aguas llegan finalmente, donde se observa un pH mas o menos neutro y es evidente la actividad microbiana.

Para esto se toman tres botellas de 300 ml y se componen de la manera en que se describe en la siguiente tabla:

<i>Identificación</i>	<i>Vol. de muestra</i>	<i>Vol. de inóculo</i>	<i>OD Final</i>
Muestra 1	10 ml	5 ml	1.8 ppm
Muestra 2	0	10 ml	2.4 ppm
Muestra 3	0	0	6.9 ppm

En todos los casos se completa a un volumen de 300 ml con agua de dilución.

- a).- Cual es la DBO ejercida por el inóculo
- b).- Cual es la DBO ejercida por la muestra y el agua de siembra
- c).- Cual es la DBO ejercida por la muestra

3: Cual es la DBO ejercida a los días: 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10 y 20 de una muestra que tiene una DBO última o final de 300 ppm y una constante de velocidad de reacción de  $0.23 \text{ d}^{-1}$

4: Cual es la DBO ejercida a los días: 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10 y 20 de una muestra que tiene una DBO última o final de 450 ppm

- a).- Si la constante de velocidad de reacción es de  $0.23 \text{ d}^{-1}$
- b).- Si la constante de velocidad de reacción es de  $0.10 \text{ d}^{-1}$
- c).- Si la constante de velocidad de reacción es de  $0.30 \text{ d}^{-1}$

5: Encuentre lo mismo que se pide en cada uno de los incisos del problema 4 anterior si la temperatura de la prueba es de  $30^{\circ}\text{C}$ .

6: Una muestra a determinar DBO da una lectura de 243 ppm de DBO remanente a los cinco días de incubación. Si la prueba se realiza a 20°C y la constante de velocidad de reacción se ha determinado experimentalmente y es de 0.209 d<sup>-1</sup>.

- a).- Cual será la DBO última o final.  
 b).- Cual será la DBO ejercida a los días: 1, 2, 3, 4, 5, 10 y 20  
 c).- Que porcentaje de la DBO final se ha ejercido a los cinco días de incubación.

7: Lo mismo que en cada uno de los incisos del problema 6 anterior si la constante de velocidad de reacción es de 0.23 d<sup>-1</sup>.

8: En tres muestras de aguas residuales de diferente procedencia, se han efectuado pruebas y los resultados obtenidos son los siguientes:

**Muestra 1:**

t (días)	1	2	3	4	5	6
DBO al tiempo t (y <sub>t</sub> )	53	92	121	142	158	169

**Muestra 2:**

t (días)	1	2	3	4	5	6
DBO al tiempo t (y <sub>t</sub> )	66	118	160	193	219	240

**Muestra 3:**

t (días)	1	2	3	4	5	6
DBO al tiempo t (y <sub>t</sub> )	53	97	134	164	190	211

Encuentre con estos datos k, la constante específica de velocidad de reacción y L<sub>0</sub> la demanda última o final, para cada muestra, empleando tanto el método de mínimos cuadrados como el método de Thomas.

**Problema 1:**

Oxígeno consumido por la muestra al final de la prueba = oxígeno disuelto en blanco – oxígeno disuelto en muestra

Para la muestra 1: Oxígeno Consumido = 7.9 mg/L – 1.3 mg/L = 6.6 mg/L

El volumen de una botella de muestra de DBO siempre es de 300 ml.

Oxígeno consumido en la botella = 6.6 mg/L × 0.3 L = 1.98 mg de O<sub>2</sub>

Como la alícuota de muestra es de 5 ml, el oxígeno consumido por la muestra de agua en mg/L es 1.98 mg O<sub>2</sub>/0.005 L = 396 mg/L

DBO<sub>5</sub>=396 mg/L

Efectuando los mismos cálculos para cada muestra tenemos:

<i>Identificación</i>	<i>Vol. de muestra ml</i>	<i>O.D. Final ppm</i>	<i>DBO<sub>5</sub> mg/L</i>
Muestra 1	5	1.3	396
Muestra 2	1	4.2	1110
Muestra 3	10	3.8	123

Muestra 4	15	0.75	143 (*)
Muestra 5	50	2.6	31.8

(\*) El residual de oxígeno es muy bajo, por lo que es recomendable analizar nuevamente esta muestra con una alícuota menor.

**Problema 3:**

Cual es la DBO ejercida a los días: 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10 y 20 de una muestra que tiene una DBO última o final de 300 ppm y una constante de velocidad de reacción de  $0.23 \text{ d}^{-1}$

$$y_t = L_0 - L_0 e^{-kt} = L_0(1 - e^{-kt})$$

$$y_t = 300 \text{ mg/L}(1 - e^{-0.23t})$$

$$t=1 \text{ día } y_t = 6.6 \text{ mg/L}$$

$$t=2 \text{ día } y_t = 110.6 \text{ mg/L}$$

$$t=3 \text{ día } y_t = 149.5 \text{ mg/L}$$

$$t=4 \text{ día } y_t = 180.4 \text{ mg/L}$$

$$t=10 \text{ días } y_t = 270 \text{ mg/L}$$

**Problema 8:**

En tres muestras de aguas residuales de diferente procedencia, se han efectuado pruebas y los resultados obtenidos son los siguientes:

**Muestra 1:**

t (días)	1	2	3	4	5	6
DBO al tiempo t ( $y_t$ )	53	92	121	142	158	169

**Muestra 2:**

t (días)	1	2	3	4	5	6
DBO al tiempo t ( $y_t$ )	66	118	160	193	219	240

**Muestra 3:**

t (días)	1	2	3	4	5	6
DBO al tiempo t ( $y_t$ )	53	97	134	164	190	211

**Muestra 1:**

t (días)	y	$y^2$	$y'$	$yy'$
1	53	2809	46	2438
2	92	8464	34	3128
3	121	14641	25	3025
4	142	20164	18.5	2627
5	158	24964	13.5	2133
6	169			
	<b>566</b>	<b>71042</b>	<b>137</b>	<b>13351</b>
n=	5			

		b=k=	0.309491	
		a=	62.43438	
		L	201.7325	

**Muestra 2:**

t (días)	y	y <sup>2</sup>	y'	yy'
1	66	4356	59	3894
2	118	13924	47	5546
3	160	25600	37.5	6000
4	193	37249	29.5	5693.5
5	219	47961	23.5	5146.5
6	240			
	<b>756</b>	<b>129090</b>	<b>196.5</b>	<b>26280</b>
n=	5			
		b=k=	0.232081	
		a=	74.39058	
		L	320.5378	

**Muestra 3:**

t (días)	y	y <sup>2</sup>	y'	yy'
1	53	2809	48.5	2570.5
2	97	9409	40.5	3928.5
3	134	17956	33.5	4489
4	164	26896	28	4592
5	190	36100	23.5	4465
6	211			
	<b>638</b>	<b>93170</b>	<b>174</b>	<b>20045</b>
n=	5			
		b=k=	0.183434	
		a=	58.20614	
		L	317.3144	

**CAPITULO 3: CINÉTICA DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**

1: Se pretende instalar una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa maquiladora, y del estudio previo se tiene la siguiente información:

El agua tiene una DBO en la entrada de 330 mg/L y sale con una DBO de 25 mg/L. El flujo promedio es de 5 L/seg.

Se pretende tener un proceso de lodos activados en un reactor con mezclado completo, con los siguientes parámetros de diseño.

$$Y=0.5 \text{ grs SVS/grs DBO}$$

$$k_d=0.05 \text{ d}^{-1}$$

Relación de flujo de agua de recirculación/Flujo de agua de alimentación:  $Q_r/Q_0=0.8$

Se construirá un tanque de 10 mts de longitud con 6 mts. de ancho y 5 mts de profundidad, que será el reactor biológico.

Se contará además con un sedimentador secundario en el cual se separan los sólidos del agua procesada y se tendrá un circuito de retorno de lodos.

En el reactor se tendrá una concentración de sólidos volátiles de 1800 mg SVS/L

a: Encuentre la concentración de sólidos en los lodos producidos  $X_w$

b: Cual es el flujo de lodos  $Q_w$ , de agua producto  $Q_e$  y el tiempo de retención de las células  $\theta_c$

2: En un proceso se tiene un flujo de agua residual de  $Q_0=5000 \text{ mts}^3/\text{día}$ , con una DBO inicial de 220 mg/L y una DBO final de 35 mg/L. El agua entra directamente a un reactor de mezclado completo y luego pasa a un sedimentador secundario

Se desea tener un tiempo de retención en el reactor de 4 horas y la concentración del licor mixto en el reactor será de 2200 mg/L y la concentración de SVS en el flujo de lodos de retorno es de 8500 mg/L.

El tiempo de retención de las células  $\theta_c$  será de 10 días y no se conocen los valores de los coeficientes  $Y$  y  $k_d$

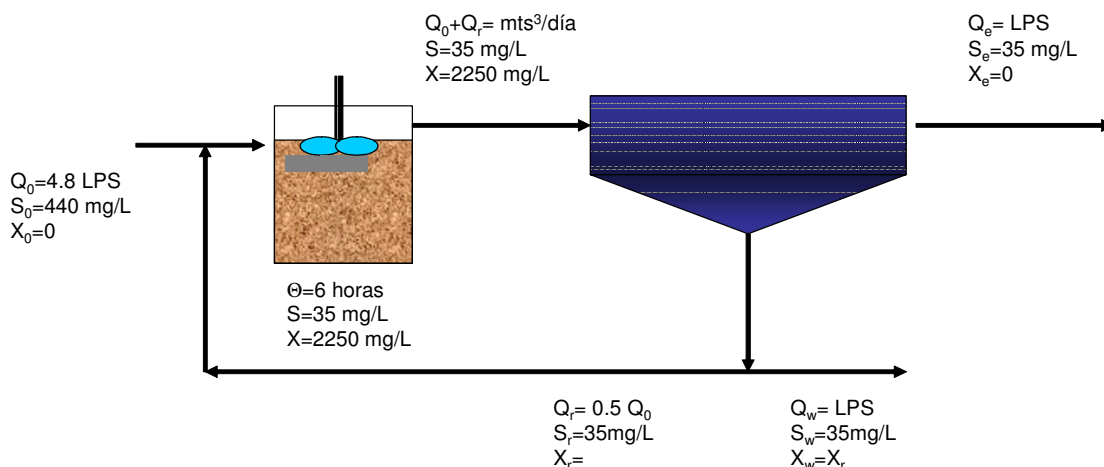
Encuentre para este proceso

a: El volumen de reactor que se requiere

b:  $Q_r$  y  $Q_e$

c: Los valores de  $U$ ,  $F/M$  y la eficiencia del proceso.

3: Encuentre  $Q_e$ ,  $Q_w$ ,  $Q_r$ ,  $\theta$ ,  $\theta_c$ ,  $U$  y  $(F/M)$  para el siguiente proceso de tratamiento

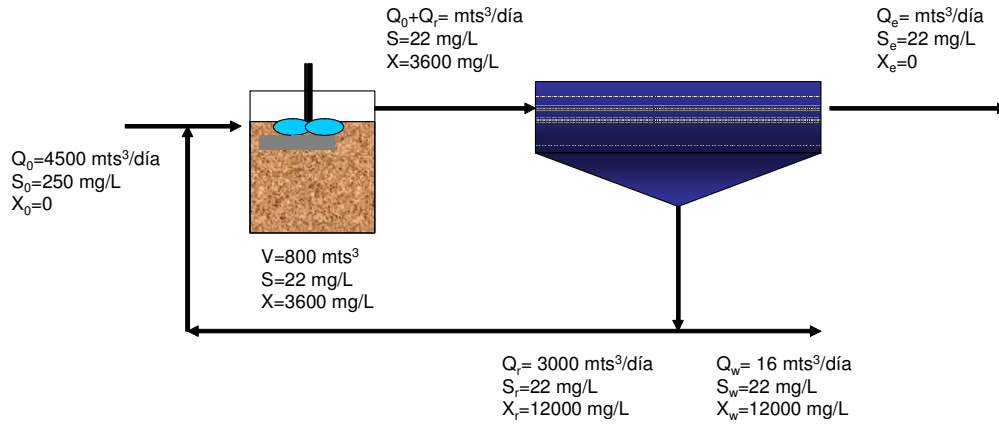


4: Un sistema de tratamiento de aguas residuales opera de acuerdo al diagrama presentado en la figura. Encuentre:

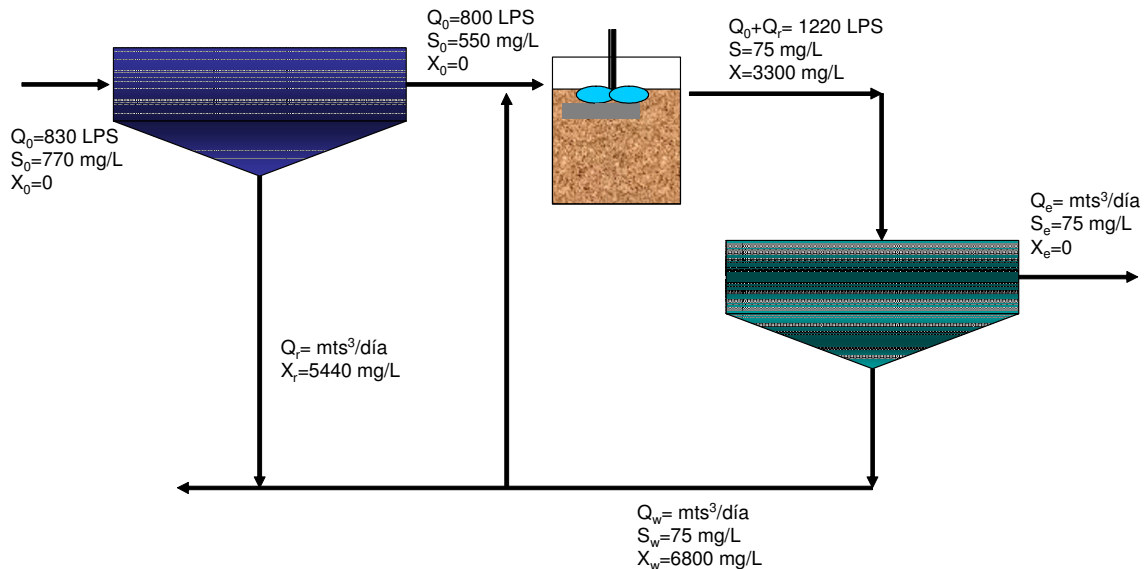
a: El flujo de agua procesada  $Q_e$ , el gasto de los lodos reciclados  $Q_r$  y el flujo de lodos residuales  $Q_w$

b: La cantidad de biomasa que se forma en Kgs de SVS/ $\text{mts}^3\text{-día}$

- c: El tiempo de residencia del agua en el reactor  $\theta$  y el tiempo de residencia de las células en el reactor  $\theta_c$
- d: Cual es la relación F/M y la carga volumétrica  $V_L$  Kg DBO/ $m^3$  en el reactor
- e: La biomasa o cantidad de sólidos producidos cada día.



5: En una planta de aguas residuales se tiene el siguiente esquema de tratamiento: el agua que tiene una demanda bioquímica de oxígeno DBO de 770 mg/L llega a un sedimentador primario. El flujo de agua de entrada a este sedimentador primario es de 60 lts/seg. En el sedimentador primario se sedimenta una parte de la DBO no soluble y la DBO del agua disminuye a 550 mg/L. En este sedimentador primario el flujo de lodos es de 3 lts/seg por lo que el flujo de agua al reactor disminuye a 57 lts/seg. En el reactor que es de mezclado completo, se tienen las siguientes dimensiones Largo=20 mts, Ancho=10 mts y H=altura o profundidad al nivel del agua=4.5 mts. El agua que sale del reactor de mezclado completo pasa a un sedimentador secundario donde se separa el agua procesada y se sedimentan los sólidos inertes y las células.



Una parte de los lodos sedimentados se recirculan al reactor y el resto se combina con los lodos del sedimentador primario y se extraen como lodos de desecho o lodos residuales, para posteriormente ser espesados y procesados en digestión anaerobia.

Considere para esta agua las constantes cinéticas descritas en el diagrama y  $\theta_c=10$  días

- a: Encuentre para esta planta:  $\theta$ ,  $Q_r$ ,  $Q_c$ ,  $Q_w$  y  $Q_s$ .
- b: Cual es la concentración de SVS  $X_s$  y la DBO en este efluente  $Q_i$ , donde se combinan los lodos del sedimentador primario y secundario
- c: Cual es la relación F/M y la carga volumétrica  $V_L$  Kg DBO/ $m^3$  en el reactor

d: Cual será la cantidad de lodos producidos como sólidos secos, si el 10% de los lodos residuales es material inerte.

**PROBLEMA 1:**

$$\begin{aligned} S_0 &= 330 \text{ mg/L} & Y &= 0.5 \text{ mg SVS/mg DBO} \\ S_e &= 25 \text{ mg/L} & k_d &= 0.05 \text{ días}^{-1} \\ Q_0 &= 5 \text{ LPS} = 432 \text{ mts}^3/\text{día} \\ Q_r &= 0.8Q_0 = 345.6 \text{ mts}^3/\text{día} \\ V &= 10 \times 6 \times 5 = 300 \text{ mts}^3 \\ X &= 1800 \text{ mg SVS/L} \end{aligned}$$

$$\frac{V}{Q_0} = \theta \quad \theta = 0.69 \text{ días}$$

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta X} - k_d \quad \text{Sustituyendo valores } \theta_c = 13.74 \text{ días}$$

Balance en el reactor: BIOMASA QUE ENTRA + BIOMASA PRODUCIDA = BIOMASA QUE SALE

$$Q_0 X_0 + Q_r X_r + V(r'_g) = (Q_0 + Q_r) X$$

$$X_0 = 0 \quad Q_r X_r + V(r'_g) = (Q_0 + Q_r) X$$

$$r'_g = -Y r_{su} - k_d X \quad r_{su} = -\frac{S_0 - S}{\theta}$$

$$r'_g = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta} - k_d X \quad \text{y sustituyendo valores } r'_g = 131 \text{ mg SVS/L-día} = 131 \text{ grs SVS/día-mt}^3$$

sustituyendo los valores en la ecuación  $Q_r X_r + V(r'_g) = (Q_0 + Q_r) X$ , tenemos;

$$345,6 X_r + (300 * 131) = (345,6 + 432) * 1800 \quad X_r = 3936 \text{ grs SVS/mt}^3$$

$$\text{Balance de células en el sedimentador } (Q_0 + Q_r) X = Q_e X_e + Q_r X_r + Q_w X_w \quad X_r = X_w = 3936 \text{ grs SVS/mt}^3$$

$$X_e = 0 \quad (Q_0 + Q_r) X = Q_r X_r + Q_w X_w \quad Q_w = 10 \text{ mts}^3/\text{día}$$

$$\frac{V X}{Q_w X_w} = \theta_c$$

Despejando de esta ecuación  $\theta_c = 13.76$  días que coincide con el valor obtenido anteriormente.

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X} = \frac{Q}{V} \left( \frac{S_0 - S}{X} \right) \quad U = 0.246 \text{ mg DBO/mg SVS-día}$$

$$Y_{obs} = \frac{YU - k_d}{U} \quad Y_{obs} = 0.297 \text{ mg SVS/mg DBO}$$

$$F/M = \frac{S_0}{X \theta} \quad F/M = 0.266 \text{ mg DBO/mg SVS-día}$$

**PROBLEMA 2:**

$$\begin{aligned}
 S_0 &= 220 \text{ mg/L} & Y &= 0.5 \text{ mg SVS/mg DBO} \\
 S_e &= 35 \text{ mg/L} & k_d &= 0.05 \text{ días}^{-1} \\
 Q_0 &= 5000 \text{ mts}^3/\text{día} & X_r &= X_w = 8500 \text{ mg/L} \\
 \theta_c &= 10 \text{ días} \\
 \theta &= 4 \text{ horas} = 0.167 \text{ días} \\
 X &= 2200 \text{ mg SVS/L}
 \end{aligned}$$

$$\frac{V}{Q_0} = \theta \quad V = \text{volumen del reactor} = 833 \text{ mts}^3$$

$$r'_g = X/\theta_c \quad r'_g = 2200/10 = 220 \text{ grs SVS/día-mt}^3$$

Balance de células en el reactor:

BIOMASA QUE ENTRA + BIOMASA PRODUCIDA = BIOMASA QUE SALE

$$Q_0 X_0 + Q_r X_r + V(r'_g) = (Q_0 + Q_r) X$$

$$X_0 = 0 \quad Q_r X_r + V(r'_g) = (Q_0 + Q_r) X$$

$$\text{y sustituyendo valores } r'_g = 220 \text{ mg SVS/L-día} = 220 \text{ grs SVS/día-mt}^3 \quad 8500 Q_r + (833 * 220) = (5000 + Q_r) * 2200$$

$$Q_r = 1717 \text{ mts}^3/\text{día}$$

$$\text{Balance de células en el sedimentador } (Q_0 + Q_r) X = Q_e X_e + Q_r X_r + Q_w X_w \quad X_r = X_w = 8500 \text{ grs SVS/mt}^3$$

$$X_e = 0 \quad (Q_0 + Q_r) X = Q_r X_r + Q_w X_w$$

$$(5000 + 1717) * 2200 = (1717 * 8500) + 8500 Q_w \quad Q_w = 21.5 \text{ mts}^3/\text{día}$$

$$\text{Corroborando resultados } \frac{VX}{Q_w X_w} = \theta_c \quad \theta_c = 10 \text{ días}$$

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X} = \frac{Q}{V} \left( \frac{S_0 - S}{X} \right) \quad U = 0.503 \text{ mg DBO/mg SVS-día}$$

$$Y_{\text{obs}} = \frac{YU - k_d}{U} \quad Y_{\text{obs}} = 0.401 \text{ mg SVS/mg DBO}$$

$$F/M = \frac{S_0}{X\theta} \quad F/M = 0.6 \text{ mg DBO/mg SVS-día}$$

**PROBLEMA 3:**

$$\begin{aligned}
 S_0 &= 440 \text{ mg/L} & Y &= 0.5 \text{ mg SVS/mg DBO} \\
 S_e &= 35 \text{ mg/L} & k_d &= 0.05 \text{ días}^{-1} \\
 Q_0 &= 4.8 \text{ LPS} = 414.7 \text{ mts}^3/\text{día} & Q_r &= 0.5 Q_0 = 207.4 \text{ mts}^3/\text{día} \\
 \theta_c &= 10 \text{ días} \\
 \theta &= 6 \text{ horas} = 0.25 \text{ días} \\
 X &= 2250 \text{ mg SVS/L}
 \end{aligned}$$



$$\frac{V}{Q_0} = \theta \quad V = \text{volumen del reactor} = 103.7 \text{ mts}^3$$

$$r'_g = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta} - k_d X \quad \text{y sustituyendo valores } r'_g = 687.5 \text{ grs SVS/dia-mt}^3$$

Balance de células en el reactor:

BIOMASA QUE ENTRA + BIOMASA PRODUCIDA = BIOMASA QUE SALE

$$Q_0 X_0 + Q_r X_r + V(r'_g) = (Q_0 + Q_r) X \quad Q_r X_r + V(r'_g) = (Q_0 + Q_r) X$$

y sustituyendo valores  $r'_g = 687.5 \text{ mg SVS/L-dia} = 220 \text{ grs SVS/dia-mt}^3$

$$207.4 X_r + (687.5 * 103.7) = (414.7 + 207.4) * 2250$$

$$X_r = 6405 \text{ mg SVS/L}$$

Balance de células en el sedimentador  $(Q_0 + Q_r) X = Q_c X_c + Q_r X_r + Q_w X_w \quad X_r = X_w = 8500 \text{ grs SVS/mt}^3$

$$X_c = 0 \quad (Q_0 + Q_r) X = Q_r X_r + Q_w X_w$$

$$(622,1) * 2250 = (6405 * 207.4) + 6405 Q_w \quad Q_w = 11.14 \text{ mts}^3/\text{dia}$$

$$\frac{VX}{Q_w X_w} = \theta_c \quad \theta_c = 3.27 \text{ dias}$$

$$\text{Corroborando resultados} \quad \frac{1}{\theta_c} = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta X} - k_d \quad \theta_c = 3.27 \text{ dias}$$

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X} = \frac{Q}{V} \left( \frac{S_0 - S}{X} \right) \quad U = 0.711 \text{ mg DBO/mg SVS-día}$$

$$Y_{\text{obs}} = \frac{YU - k_d}{U} \quad Y_{\text{obs}} = 0.43 \text{ mg SVS/mg DBO}$$

$$F/M = \frac{S_0}{X\theta} \quad F/M = 0.782 \text{ mg DBO/mg SVS}$$

$$Q_c = 414.7 - 11.14 = 403.6 \text{ mts}^3/\text{dia}$$

#### **PROBLEMA 4:**

$$S_0 = 250 \text{ mg/L}$$

$$S_e = 22 \text{ mg/L}$$

$$Q_0 = 4500 \text{ mts}^3/\text{dia}$$

$$V = 800 \text{ mts}^3$$

$$X = 3600 \text{ mg SVS/L}$$

$$Y = 0.45 \text{ mg SVS/mg DBO}$$

$$k_d = 0.05 \text{ dias}^{-1}$$

$$X_r = X_w = 12000 \text{ mg/L}$$

$$\frac{V}{Q_0} = \theta \quad \theta = 0.178 \text{ días}$$

$$r'_g = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta} - k_d X \quad \text{y sustituyendo valores } r'_g = 396.4 \text{ grs SVS/día-} \text{m}^3$$

Balance de células en el reactor:

BIOMASA QUE ENTRA + BIOMASA PRODUCIDA = BIOMASA QUE SALE

$$Q_0 X_0 + Q_r X_r + V(r'_g) = (Q_0 + Q_r) X \quad Q_r X_r + V(r'_g) = (Q_0 + Q_r) X$$

$$12000 Q_r + (800 * 396.4) = (4500 + Q_r) * 3600$$

$$Q_r = 1891 \text{ mg SVS/L}$$

Balance de células en el sedimentador  $(Q_0 + Q_r) X = Q_e X_e + Q_r X_r + Q_w X_w$   $X_r = X_w = 12000 \text{ grs SVS/} \text{m}^3$

$$X_e = 0 \quad (Q_0 + Q_r) X = Q_r X_r + Q_w X_w$$

$$(1891 + 4500) * 3600 = (1891 * 12000) + 12000 Q_w \quad Q_w = 26.3 \text{ mts}^3/\text{día}$$

$$\frac{VX}{Q_w X_w} = \theta_c \quad \theta_c = 9.12 \text{ días}$$

Corroborando resultados  $\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta X} - k_d \quad \theta_c = 9.12 \text{ días}$

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X} = \frac{Q}{V} \left( \frac{S_0 - S}{X} \right) \quad U = 0.16 \text{ mg DBO/mg SVS-día}$$

$$Y_{\text{obs}} = \frac{YU - k_d}{U} \quad Y_{\text{obs}} = 0.1375 \text{ mg SVS/mg DBO}$$

$$F/M = \frac{S_0}{X\theta} \quad F/M = 0.39 \text{ mg DBO/mg SVS}$$

$$Q_e = 4500 - 26.3 = 4473.7 \text{ mts}^3/\text{día}$$

**PROBLEMA 5:**

$$S_0 = 550 \text{ mg/L}$$

$$S_e = 75 \text{ mg/L}$$

$$Q_0 = 800 \text{ LPS} = 69120 \text{ mts}^3/\text{día}$$

$$Q_r = 420 \text{ LPS} = 36288 \text{ mts}^3/\text{día}$$

$$\theta = 0.4 \text{ días}$$

$$X = 3300 \text{ mg SVS/L}$$

$$Y = 0.48 \text{ mg SVS/mg DBO}$$

$$k_d = 0.07 \text{ días}^{-1}$$

$$X_r = X_w = 6800 \text{ mg/L}$$

$$\frac{V}{Q_0} = \theta \quad V = 27648 \text{ mts}^3$$

$$r'_g = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta} - k_d X \quad \text{y sustituyendo valores } r'_g = 339 \text{ grs SVS/día-mt}^3$$

Balance de células en el reactor:

BIOMASA QUE ENTRA + BIOMASA PRODUCIDA = BIOMASA QUE SALE

$$Q_0 X_0 + Q_r X_r + V(r'_g) = (Q_0 + Q_r) X \quad Q_r X_r + V(r'_g) = (Q_0 + Q_r) X$$

y sustituyendo valores  $r'_g = 687.5 \text{ mg SVS/L-día} = 220 \text{ grs SVS/día-mt}^3$

$$6800 Q_r + (27648 * 339) = 3300 Q_r + 2.28 \times 10^8$$

$$Q_r = 62492 \text{ mts}^3/\text{día}$$

Balance de células en el sedimentador  $(Q_0 + Q_r) X = Q_e X_e + Q_r X_r + Q_w X_w \quad X_r = X_w = 6800 \text{ grs SVS/mt}^3$

$$X_e = 0 \quad (Q_0 + Q_r) X = Q_r X_r + Q_w X_w$$

$$(69120 + 62492) * 3300 = (62492 * 6800) + 6800 Q_w \quad Q_w = 1378.5 \text{ mts}^3/\text{día}$$

$$\frac{VX}{Q_w X_w} = \theta_c \quad \theta_c = 9.73 \text{ días}$$

Corroborando resultados  $\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta X} - k_d \quad \theta_c = 9.73 \text{ días}$

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X} = \frac{Q}{V} \left( \frac{S_0 - S}{X} \right) \quad U = 0.172 \text{ mg DBO/mg SVS-día}$$

$$Y_{\text{obs}} = \frac{YU - k_d}{U} \quad Y_{\text{obs}} = 0.073 \text{ mg SVS/mg DBO}$$

$$F/M = \frac{S_0}{X\theta} \quad F/M = 0.417 \text{ mg DBO/mg SVS}$$

$$Q_e = 69120 - 1378.5 = 67741.5 \text{ mts}^3/\text{día}$$

**CAPITULO 5; PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**

Una planta de lodos activados se empleara para dar tratamiento a las aguas residuales de una ciudad de 75,500 habitantes y las características de diseño son las siguientes:

Agua residual producida por habitante 200 L/día

$Y_{obs}=0.45$  mg SVS/mg DBO

DBO en el influente=300 mg/L

Eficiencia en remoción de DBO=90%

$X=2500$  mg SVS/L

Con esta información encuentre lo que se le solicita en cada apartado.

a: Cual será el tiempo de contacto del agua en el reactor, la relación FM y la carga volumétrica aplicada CVA. Si el agua se va a procesar en dos digestores biológicos cada uno de ellos de 30 metros de largo y de 12 mts de ancho con una profundidad efectiva de 5 mts, cual será el tiempo de retención  $\theta$  en el reactor biológico?

$Q$ =Flujo de agua= $0.2$  mts<sup>3</sup>/día-habitante $\times$ 75500 habitantes= $15100$  mts<sup>3</sup>/día

$V=12\times 30\times 5=1800$  mts<sup>3</sup> por cada reactor Volumen total de los dos reactores = $3600$  mts<sup>3</sup>

$\theta=3600$  mts<sup>3</sup>/ $15100$  mts<sup>3</sup>/día= $0.238$  días= $5.72$  horas

Cual es la relación FM  $FM=S_oQ_o/VX$  o también  $FM=S_o/X\theta$   $FM=0.5$  grs DBO/grs SVS-día

La carga volumétrica aplicada es:  $CVA= S_oQ_o/V=1250$  grs DBO/día- $mt^3$

b: Cual es la potencia en aireación para aireadores superficiales que se requiere de acuerdo a los estándares de diseño que consideran de  $0.02$  a  $0.04$  Kw/ $mt^3$ ?

Potencia= $3600$  mts<sup>3</sup> $\times$  $0.03$  Kw/ $mt^3$ = $108$  Kw= $81$  HP

c: Cual será la potencia requerida considerando difusores sumergidos?

Considerando datos de diseño, se estima que la cantidad de aire que se requiere en oxigenación por difusores, es de  $0.02$  a  $0.03$  mts<sup>3</sup> de aire por minuto/ $mt^3$  de agua. Considerando  $3600$  mts<sup>3</sup> de agua en total en los dos digestores se requieren  $0.025\times 3600=90$  mts<sup>3</sup> de aire/min.

Si el aire entra a  $25^\circ\text{C}$  y  $P=1$  atm, empleando la ecuación general del estado gaseoso  $PV=nRT$  y considerando  $M$  el peso molecular del aire  $M=28.84$  grs/ml, la masa de aire a inyectar es de  $147.4$  Kg/min.

La potencia  $P_w$  para aireadores centrífugos se calcula empleando la siguiente formula:

$$P_w = \frac{wRT}{8.4e} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$P_w$ =Potencia de los aireadores en Kw

$P_2$ presión a la salida de los difusores

$P_1$ presión a la toma de los sopladores

$w$ =masa de aire a suministrar Kg/seg

$R$ =Cte. general del estado gaseoso= $8.314$  kJ/ $kmol^\circ\text{K}$

$T$ =Temperatura del aire en  $^\circ\text{K}$

$e$ =eficiencia del soplador o aireador (de un  $70$  a un  $90\%$ )

Considerando

$P_w$ =Potencia de los aireadores en Kw

$P_2=1.7$  atm

$P_1=1.0$  atm

$w=1.228$  Kg/seg

$R$ =Cte. general del estado gaseoso= $8.314$  kJ/kmol $^\circ$ K

$T=298$   $^\circ$ K

$e=0.8$

$P_w=146.8$  Kw= $110$  HP

d: Que cantidad de biomasa o células nuevas se producen cada día y cual es el tiempo de residencia de las células en reactor  $\theta_c$ :

$$Vr_g' = Q_0 Y_{obs} (S_0 - S) = 15100 \text{ mts}^3/\text{día} \times 0.45 \text{ grs SVS/grs DBO} \times (300 - 30) \text{ grs DBO/mts}^3 \\ = 1,834,650 \text{ grs SVS/día} = 1834.7 \text{ Kgs/día}$$

$$r_g' = 1,834,650 \text{ grs SVS/día} / 3600 \text{ mts}^3 = 509.6 \text{ grs SVS/día-} \text{mts}^3$$

$$r_{su} = \frac{S_0 - S}{\theta} \quad r_{su} = (300 - 30) / 0.238 \text{ días} = 1134.5 \text{ grs DBO/} \text{mts}^3\text{-día}$$

Comprobando el resultado:  $Y_{obs} = r_g' / r_{su} = 509.6 \text{ grs SVS/} \text{mts}^3\text{-día} / 1134.5 \text{ grs DBO/} \text{mts}^3\text{-día} = 0.45 \text{ grs SVS/grs DBO}$

Para mantener en equilibrio el sistema la cantidad de células o lodos que se deben extraer deben ser igual a la cantidad de biomasa producida

$$Q_w X_w = 1,834,650 \text{ grs SVS/día}$$

$$\frac{VX}{Q_w X_w} = \theta_c \quad \theta_c = (3600 \text{ mts}^3 \times 2500 \text{ grs SVS/} \text{mts}^3) / (1,834,650 \text{ grs SVS/día}) = 4.9 \text{ días}$$

e: el flujo de lodos que se desechan desde el sedimentador secundario  $Q_w$  y el flujo de lodos que se recirculan al digestor aerobio  $Q_r$ , si la concentración de células en el fondo del sedimentador es  $X_w = 8500$  grs SVS/ $\text{mts}^3$

$$\text{Si } X_w = 8500 \text{ grs SVS/} \text{mts}^3 \text{ entonces } Q_w = 215.84 \text{ mts}^3/\text{día}$$

$$\text{Balance de materia en el reactor: } Q_0 X_0 + Q_r X_r + V(r_g') = (Q_0 + Q_r) X$$

$$Q_0 X_0 \approx 0 \text{ y por lo tanto } Q_r X_r + V(r_g') = (Q_0 + Q_r) X$$

$$2500 Q_r + 1834.7 \times 10^3 = (15100 + Q_r) 2500 \quad Q_r = 6291.7 \text{ mts}^3/\text{día} \quad Q_r / Q_0 = 0.417$$

f: cual será el área requerida en el sedimentador secundario, considerando que se tendrán dos sedimentadores y el valor de diseño es de  $Q/A = 30$   $\text{mts}^3/\text{día-} \text{mts}^2$

$$\text{Sedimentador secundario: } Q/A = 30 \text{ mts}^3/\text{día-} \text{mts}^2$$

$$\text{Área requerida es de } 15100 \text{ mts}^3/\text{día} \div 30 \text{ mts}^3/\text{día-} \text{mts}^2 = 503.3 \text{ mts}^2$$

Como se tendrán dos sedimentadores, el área de cada sedimentador es de  $251.7$   $\text{mts}^2$

$$\text{Diámetro } D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad D=17.9 \cong 18 \text{ mts}$$

g: cual será la masa total de lodos que se extrae del reactor si el 88% de la masa de lodos es material orgánico y el resto son arcillas, feldspatos, silicatos, etc. (material inorgánico)

Si el porcentaje de lodos es de 88% material volátil y el resto es material inorgánico, entonces la masa total de lodos producida es de  $1,834,650 \text{ grs SVS/día} / 0.88 = 2,084.8 \text{ Kgs/día}$

h: Si en un espesador estos lodos se compactan hasta un lodo de densidad 1.22 Kgs/lto con un 6% de sólidos totales (volátiles y no volátiles), cual será el volumen de lodos espesados que entran a un digestor anaerobio.

Sólidos totales producidos en un día: 2084.8 Kgs Si estos lodos se encuentran en una pulpa de 6% de sólidos entonces el peso de la pulpa es de:  $2084.8 \text{ Kgs sólidos} \times 100 \text{ Kg de lodos} / 6 \text{ Kgs de sólidos secos} = 34746.7 \text{ Kg de lodos}$

Como la densidad es de 1.22 Kg de lodos/L entonces  $34746.7 \text{ Kgs lodos} / \text{L} \times 1 \text{ L} / 1.22 \text{ Kgs de lodos} = 28481 \text{ litros o } 28.48 \text{ mts}^3 \text{ de lodos.}$

i: Si en el reactor anaerobio las células se reducen a un 10% de su masa original, cual será la masa de células residual y cual será la composición de los lodos en sólidos volátiles y no volátiles?

La masa de células residuales es de  $1834.7 \text{ Kgs} \times 0.10 = 183.5 \text{ Kgs de células}$  y la masa de sólidos no volátiles originalmente era de  $2084.8 - 1834.7 = 250.1 \text{ Kgs}$

La masa de lodos es ahora de 250.1 Kgs de sólidos no volátiles y 183.5 Kgs de sólidos volátiles = 433.6 Kgs de lodos residuales totales.

**CAPITULO 6; SISTEMAS ALTERNOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Germain y Schultz desarrollaron un modelo para cálculo de biofiltros y su ecuación es la siguiente:

$$\frac{S}{S_0} = e^{-k_T M / Q_v^n} \quad (1)$$

$S_0$ = Sustrato en el influente o agua a tratamiento mg DBO/L

$S$ = Sustrato en el efluente o agua tratada mg DBO/L

$k_T$ =Constante de tratabilidad a una determinada temperatura en un filtro de profundidad  $M$

$M$ =Profundidad del filtro (mts)

$Q_v$ =Carga volumétrica aplicada o flujo de agua por unidad de área de sección transversal del filtro

$Q_v=Q/A$  (mts<sup>3</sup>/día-mt<sup>2</sup>)

$Q$ =Flujo de agua (mts<sup>3</sup>/día)

$A$ =Área de sección transversal del biofiltro (mt<sup>2</sup>)

$n$ =Constante empírica determinada experimentalmente. En ausencia de información precisa se puede estimar  $n=0.5$

Para predecir el comportamiento de un filtro biológico de dimensiones diferentes a las de un biofiltro existente, se emplean la siguiente ecuación:

$$k_2 = k_1 \left( \frac{M_2}{M_1} \right)^x \quad (2)$$

$k_1$ = Constante de tratabilidad a una temperatura  $T$  para un filtro de profundidad  $M_1$

$k_2$ = Constante de tratabilidad a una temperatura  $T$  para un filtro de profundidad  $M_2$

$x$ =termino empírico

$x=0.5$  para filtros de roca

$x=0.3$  para filtros de medios sintéticos

El valor de  $k_T$  la constante de tratabilidad depende de la temperatura y su valor esta en función de la siguiente ecuación:

$$k_B = k_A (1.035)^{T_B - T_A} \quad (3)$$

$k_A$ =Cte. de tratabilidad a  $T_A$  °C

$k_B$ =Cte. de tratabilidad a  $T_B$  °C

**Ejemplo 1:** Se efectúan pruebas piloto en un biofiltro empacado con medio sintético y con los siguientes datos:

$M=1.20$  mts

$A$ =Área del filtro= $1.77$  mts<sup>2</sup>

$S_0=280$  mg/L

$Q=7$  lts/min

$S=33$  mg/L

$R=0$  no hay recirculación

Encuentre la constante de tratabilidad de esta agua residual si las pruebas se efectuaron a una temperatura promedio de 26°C.

Determine cual deberá ser el diámetro de una biotorre de 4 mts. de profundidad con este mismo empaque sintético y con esta misma agua que efectuara el tratamiento a una temperatura de 20°C.

El volumen de agua a procesar es de 6,000 mts<sup>3</sup>/día y se desea que la eficiencia de la operación en remoción de DBO sea de al menos un 90%

Se encuentra primero la constante de tratabilidad  $k_T$  despejando de la formula

$$\frac{S}{S_o} = \exp\left[-k_T M / (Q_v)^n\right] \quad (4)$$

$$Q_v = 10.08 \text{ mts}^3/\text{dia} / 1.77 \text{ mts}^2$$

$$Q_v = 5.69 \text{ mts}^3/\text{dia} - \text{mts}^2$$

$$\ln(S_o/S) = -k_T M / Q_v^n$$

$$\ln(33/280) = k_T (1.2 \text{ mts}) / (5.69 \text{ mts}^3/\text{dia} - \text{mts}^2)^{0.5}$$

$$k_T = 4.25 \text{ (dias/mts)}^{0.5}$$

$k_{26} = 4.25 \text{ (días/mts)}^{0.5}$  = constante de tratabilidad a 26°C ya que a esta temperatura se efectuaron las pruebas. A 20°C tenemos

$$k_{26} = k_{20} (1.035)^{26-20}$$

$$4.25 = k_{20} (1.035)^6$$

$$k_{20} = 4.25 / 1.229 = 3.46$$

Para la corrección por profundidad de la torre tenemos

$$k_2 = k_1 (M_1/M_2)^{0.3}$$

$$k_2 = 3.46 (4 \text{ mts} / 1.2 \text{ mts})^{0.3} = 4.97$$

Efectuando el cálculo para la torre biológica industrial tenemos:

$$S_o = 280 \text{ mg/L}$$

$$S = 28 \text{ mg/L}$$

$$k_{20} = 4.97$$

$$M = 4 \text{ mts}$$

$$Q_v^{0.5} = -\frac{k_T D}{\ln \frac{S}{S_o}}$$

$$Q_v = (8.63)^2 = 74.4 \text{ mts}^3/\text{dia} - \text{mts}^2$$

$Q_v = Q/A$  y despejando  $A = 6,000/74.4 = 80.6 \text{ mts}^2$  y como se va a dividir en dos filtros circulares el área por filtro es  $80.6 \text{ mts}^2/2 = 40.3 \text{ mts}^2$  y el diámetro de cada filtro es de  $A = \pi D^2/4$  y  $M = 7.2 \text{ mts}$

También si existe recirculación en el biofiltro la ecuación de Germain y Schultz se modifica de la siguiente manera:

Para un biofiltro con recirculación empleamos la siguiente formula:

$$\frac{S}{S_m} = \frac{e^{-k_T M / Q_v^n}}{(1+R) - R e^{-k_T M / Q_v^n}} \quad (5)$$

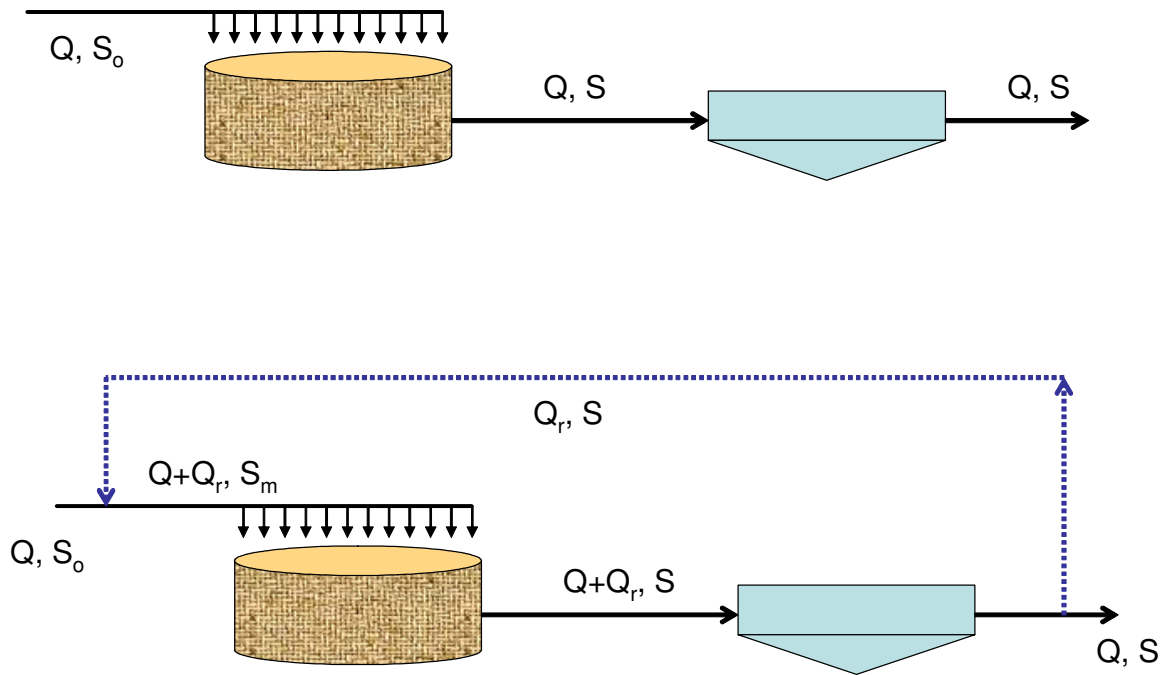
Donde:



$S_m$  = Concentración de sustrato en el agua que entra al biofiltro después de mezclarse el agua de alimentación  $S_o$  con el agua de recirculación de concentración  $S$ .

$$S_m = \frac{S_o + RS}{1 + R} \quad (6)$$

Sistema de biofiltro con recirculación y sin recirculación



**ECUACIONES DE LA NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL)**

Existen otras ecuaciones para evaluar la operación de los filtros biológicos con materiales de roca como medio de empaque. Estas son las ecuaciones de la NRC y son las siguientes:

$$E_1 = \frac{100}{1 + 0.443 \sqrt{\frac{W_1}{VF}}} \quad (7)$$

$$F = \frac{1 + R}{(1 + R/10)^2} \quad (8)$$

$$E_2 = \frac{100}{1 + \frac{0.443}{1 - E_1} \sqrt{\frac{W_2}{VF}}} \quad (9)$$

$E_1$ =Eficiencia del primer biofiltro a 20°C

$E_2$ =Eficiencia del segundo biofiltro a 20°C

$R$ =Relación de recirculación  $Q_r/Q$

$Q_r$ =Flujo de agua en recirculación

$Q$ =Flujo de agua en el influente o entrada al biofiltro

$W_1$ =DBO aplicada al primer biofiltro Kg/día

$V$ =Volumen del medio en el filtro expresados en miles de mts<sup>3</sup>

$F$ =Factor de recirculación  $Q_r/Q_0$

$W_2$ = DBO aplicada al segundo biofiltro Kg/día

$E_1$ =Eficiencia del filtro 1 expresado como fracción de porcentaje (ej:  $E_1=90\%$  entonces  $E_1=0.9$ )

Para una temperatura diferente a 20°C se emplea la ecuación:

$$E_2 = E_1 (1.035)^{T_2 - T_1} \quad (11)$$

**Ejemplo 2:** Que volumen de agua se podrá procesar en una estructura que se va a habilitar como biofiltro en una comunidad rural que cuenta con una cisterna de 25 mts × 4 mts, donde se colocará un lecho de 1.50 mts de roca volcánica.

La DBO esperada en el agua de entrada es de 250 mg/L y se desea una DBO del agua procesada no mayor de 30 mg/L

a: Encuentre el flujo de agua que se puede procesar con esta eficiencia si  $R=0$ ,  $R=1$  y  $R=2$

b: Si la comunidad tiene 387 habitantes y la aportación al drenaje per cápita es de 280 litros por habitante, ¿es posible emplear este método de tratamiento de las aguas residuales del pueblo?, Si es así ¿en que condiciones  $R=0$ ,  $R=1$ ,  $R=2$ ?

Considerando los datos tenemos:

$S_0=250$  mg/L

$S=30$  mg/L

$E=(250-30) \times 100/250=88\%$

Volumen del medio= $V=25$  mts×4 mts×1.5 mts= 150 mts<sup>3</sup>

Si  $R=0$   $F=1$

Despejando de la ecuación (7) tenemos:

$$\sqrt{\frac{W}{VF}} = 0.308$$

$W/VF=0.0949$   
 $S_0=250$  grs/mt<sup>3</sup>

$W=(0.0949)(150)(1)=14.23$  Kg de DBO/día

$W=S_0Q$

Despejando  $Q=W/S_0=14230$  gr/día/250 gr/mt<sup>3</sup>=56.92 mts<sup>3</sup>/día

Si  $R=1$   $F=1.65$

$W/VF=0.0949$

$W=(0.0949)(150)(1.65)= 23.49$  Kg de DBO/día

$W=S_0Q$

$Q=W/S_0=23490$  grs/día/250 gr/mt<sup>3</sup>=93.95 mts<sup>3</sup>/día

Si  $R=2$   $F=2.08$

$W/VF=0.0949$

$W=(0.0949)(150)(2.08)= 29.61$  Kg de DBO/día

$W=S_0Q$

$$Q=W/S_o=29610 \text{ grs/día}/250 \text{ gr/mt}^3=118.4 \text{ mts}^3/\text{día}$$

El flujo promedio de agua esperado es de:

280 L/hab-día×387 habitantes=108,360 L/día=108 mts<sup>3</sup>/día, por lo tanto se requiere de un flujo con recirculación R=2

### **PROBLEMAS PROPUESTOS**

**Problema 1:** Considere los mismos datos del problema del ejemplo 1.

$$Q=6000 \text{ mts}^3/\text{día}$$

$$S_o=280 \text{ mg/L}$$

$$S=28 \text{ mg/L}$$

$$k_{20}=4.97$$

$$M=4 \text{ mts}$$

$$n=0.5$$

Solo que considere la opción de recirculación R=2 ( $Q_r=2Q_0$ )

Empleando la ecuación de Germain-Schultz modificada para recirculación, encuentre el área requerida para un biofiltro con recirculación.

**Problema 2:** Una industria procesadora de lácteos debe cumplir con la norma de descarga que requiere una DBO máxima en el agua de desecho al drenaje de 600 mg DBO/L.

El esquema de tratamiento por una empresa especializada en tratamiento de aguas residuales, propone la construcción de una planta procesadora y en su diseño especifica lo siguiente:

Un arreglo de dos filtros cada uno de 10 mts. de diámetro, y con 1.5 mts de empaque de roca de 1.5" - 3". para un primer tratamiento del agua, con una recirculación R=1.5

Un segundo tratamiento de toda agua en un solo filtro de 12 mts. de diámetro y de 1.5 mts de altura, también con material de roca como empaque con una recirculación de agua tratada R=2

Los datos del agua residual a procesar son los siguientes;

$$Q=1450 \text{ mts}^3/\text{día}$$

$$S_o=1850 \text{ mg DBO/L}$$

La temperatura esperada en el año es de 25°C promedio.

Usted es el Ingeniero de planta y deberá decidir la compra y construcción de la planta, si con este tipo de arreglo considera se podrá cumplir con las especificaciones de la Junta de Aguas local.

Empleando las ecuaciones para diseño de filtros biológicos de la NRC, demuestre si es o no factible el propósito de la planta.

**Problema 3:** En una fábrica de lácteos se pretende reducir la DBO del agua de desecho desde 850 mg/L que es su valor promedio hasta un agua con una DBO no mayor a 100 mg/L

El flujo de agua producido por la empresa de lácteos es de 100 L/min y se tendrá un solo paso de tratamiento, con un solo filtro de roca, con una relación de recirculación R=2

Cual deberá ser el área de un filtro de este tipo, el cual tendrá una altura de 1.5 mts. en el medio del filtro percolador.? Considere la temperatura promedio del agua de 20°C

**Problema 4:** Una planta maquiladora que empaqa chiles encurtidos, procesará agua residual con las siguientes características:

$$S_o=885 \text{ mg/L } Q_0=1440 \text{ mts}^3/\text{día}$$

Se proyecta tener dos unidades en paralelo de filtros biológicos con medio sintético de empaque y un fabricante ofrece filtros biológicos cerrados con las siguientes características del equipo:

De 4.0 mts de diámetro y de 6 mts. de altura en el lecho de empaque.

El flujo de agua que entra se distribuye equitativamente en los dos filtros y el agua que se obtiene como efluente se manda a un sedimentador.

Se tendrá una relación de recirculación de  $Q_r/Q_0=R=2$

Por pruebas efectuadas en una planta piloto del fabricante del equipo se ha encontrado que para este tipo de agua y para biofiltros con una altura de empaque de 6 metros  $k_{20}=1.18$  (cte. de tratabilidad a 20°C).

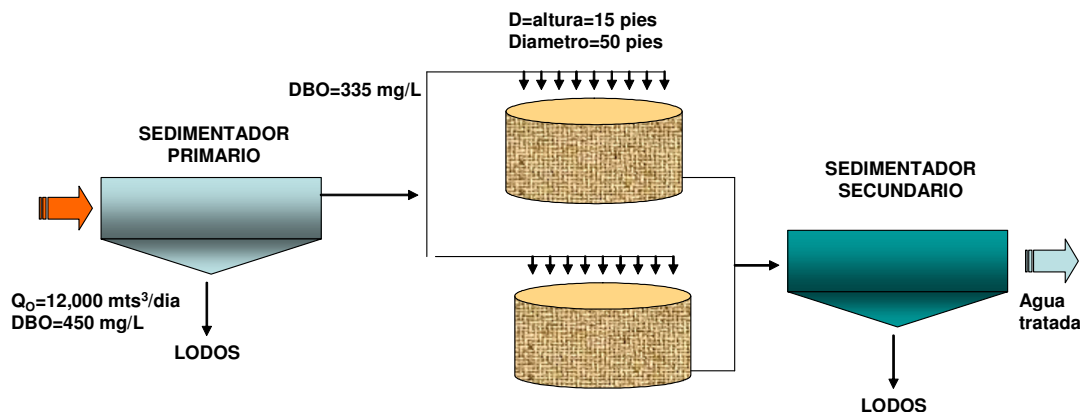
El valor de  $n$  en la ecuación de Germain-Schultz es de 0.42 según el fabricante.

El objetivo de la planta es cumplir con la norma de calidad de agua para drenaje que exige la Junta de aguas de la localidad y que no debe ser mayor de 30 ppm de DBO.

La temperatura de operación y de diseño es de 25°C

a: Es suficiente para cumplir con la norma el arreglo proyectado?. Demuestre su respuesta

**Problema 5:** Un municipio proyecta dar tratamiento a sus aguas residuales, las cuales se calcula que se vierten en un volumen de 12,000 metros cúbicos por día, en un esquema de tratamiento con un sistema de filtros biológicos o de escurrimiento.



Las características o datos de diseño son:

Temp. del agua en invierno: 15°C

Temp. del agua en verano: 24°C

DBO del agua al sedimentador primario: 450 mg/lto

DBO del agua a filtros biológicos: 335 mg/lto

Un proveedor de equipo ofrece módulos de tratamiento con empaque de medio sintético con recipientes de geometría cilíndrica, de 50 pies de diámetro y 15 pies de altura.

Las características de diseño proporcionadas por él son las siguientes:

$k=0.08 (\text{gal/min})^{0.5} \cdot \text{ft}^{-1}$  a 20°C

$k$  es función de la temperatura y varía de acuerdo a la siguiente relación:  $k_T = k_{20^\circ\text{C}} (1.015)^{(T-20)}$

$n=0.55$  (dato del fabricante del medio sintético)

Se planea instalar dos módulos de 50×15 pies y distribuir el agua en los dos filtros en paralelo,

a: Considerando esta información, prediga cual será la DBO del efluente del sedimentador secundario a  $t=20^\circ\text{C}$  y cuando  $R=0$

b: Si  $R=1.5$  cual será la DBO del efluente del sedimentador secundario en invierno ( $t=15^\circ\text{C}$ ) y en verano ( $t=24^\circ\text{C}$ ).

**Nota:** Para emplear la cte. de tratabilidad que está en unidades del sistema inglés, el flujo deberá expresarse en gal/min, el área en  $\text{ft}^2$  y la profundidad  $M$  en pies,

Considerando la norma de calidad de efluentes, con una DBO máxima de 30 mg/L, cumplirá esta planta con las expectativas?

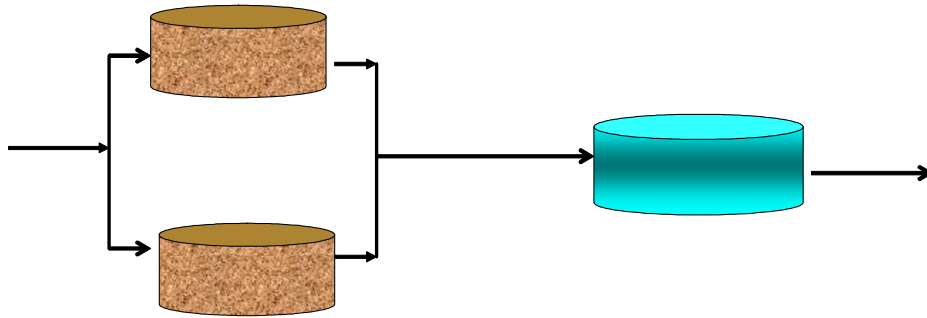
**Problema 6:** Un rastro industrial desecha aguas con las siguientes características:

DBO del agua a procesar = 1850 mg DBO/L       $Q=1450 \text{ mts}^3/\text{día}$

Se pretende construir dos filtros de roca de 12 metros de diámetro y luego el agua de los dos filtros que sale como efluente se hace pasar por un solo filtro de roca de 15 metros de diámetro.

En todos los casos los filtros tienen una altura de 1.50 metros.

Encuentre la DBO del agua producto en el tercer filtro si  $R=0$  en los dos primeros filtros y  $R=1.5$  en el tercer filtro.



$Q=1450$  mts<sup>3</sup>/día  
 $S_o=1850$  mg/L  
Altura de los biofiltros=1.5 mts  
Diámetro de los dos primeros biofiltros=12 mts  
Diámetro del tercer biofiltro=15 mts

**CAPITULO 7: DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

Laguna Aerobia de Corto Tiempo de Retención:

$Q = \text{Flujo de Diseño} = 160 \text{ lts/seg} = 9.6 \text{ mts}^3/\text{min} = 576 \text{ mts}^3/\text{hra} = 13824 \text{ mts}^3/\text{dia}$

Se tomará como base del diseño  $Q = 15,000 \text{ mts}^3/\text{dia}$ .

$\theta_r = \text{Tiempo de retención en la laguna} = 4 \text{ días}$

$M = \text{Carga Orgánica por día} = 150 \text{ gr/mt}^3 \times 15,000 \text{ mts}^3/\text{dia} = 2,250,000 \text{ grs} = 2250 \text{ Kg DBO/día}$

El Volumen de la laguna deberá ser de  $V = Q \times \theta_r = 15,000 \text{ mts}^3/\text{dia} \times 4 \text{ días} = 60,000 \text{ mts}^3$

Por las características del influente se tendrá una o mas lagunas del tipo de laguna aerobia de alta velocidad. En este tipo de lagunas la profundidad es de 0.30 a 0.45 mts, por lo que si seleccionamos una profundidad de 0.5 mts. se requiere de un área de  $60,000 \div 0.5 = 120,000 \text{ mts}^2 = 12 \text{ hectáreas}$ , lo cual es una superficie bastante considerable.

La carga orgánica por día por hectárea es:  $2250 \text{ Kg DBO/día} \div 12 \text{ hectáreas} = 187.5 \text{ Kg DBO/día-hera}$ , valor que se encuentra apenas dentro del rango de operación de este tipo de lagunas.

Laguna Aerobia de Largo Tiempo de Retención:

$Q = \text{Flujo de Diseño} = 160 \text{ lts/seg} = 9.6 \text{ mts}^3/\text{min} = 576 \text{ mts}^3/\text{hra} = 13824 \text{ mts}^3/\text{dia}$

$Q = 15,000 \text{ mts}^3/\text{dia}$ .

$\theta_r = \text{Tiempo de retención en la laguna} = 10 \text{ días}$

$M = \text{Carga Orgánica por día} = 150 \text{ gr/mt}^3 \times 15,000 \text{ mts}^3/\text{dia} = 2,250,000 \text{ grs} = 2250 \text{ Kg DBO/día}$

El Volumen de la laguna deberá ser de  $V = Q \times \theta_r = 15,000 \text{ mts}^3/\text{dia} \times 10 \text{ días} = 150,000 \text{ mts}^3$

En este tipo de lagunas la profundidad es de 0.90 a 1.2 mts, por lo que si seleccionamos una profundidad de 1.2 mts. se requiere de un área de  $150,000 \div 1.2 = 125,000 \text{ mts}^2 = 12.5 \text{ hectáreas}$ , lo cual también es una superficie bastante considerable.

La carga orgánica por día por hectárea es:  $2250 \text{ Kg DBO/día} \div 12.5 \text{ hectáreas} = 180 \text{ Kg DBO/día-hera}$ , lo cual está fuera del rango que se maneja en este tipo de lagunas, por lo que es necesario tener una mayor área de tratamiento.

Si se construyen 15 hectáreas de lagunas de 1.2 mts de profundidad se tendrán los siguientes valores:

$V = \text{Volumen de las lagunas} = 150,000 \text{ mts}^3 \times 1.2 \text{ mts} = 180,000 \text{ mts}^3$

$\theta_r = 180,000 \text{ mts}^3 \div 15,000 \text{ mts}^3/\text{dia} = 12 \text{ días}$

La carga orgánica por día por hectárea es:  $2250 \text{ Kg DBO/día} \div 15 \text{ hectáreas} = 150 \text{ Kg DBO/día-hera}$ , lo cual aún está fuera del rango que se maneja en este tipo de lagunas, pero cercano al valor de diseño, por lo que se puede proyectar esta área de tratamiento y considerar una posible expansión a un área de lagunas de 18 a 20 hectáreas.

Laguna Aerobia/Anaerobia o Facultativa:

$Q = 15,000 \text{ mts}^3/\text{dia}$ .

$\theta_r = \text{Tiempo e retención en la laguna} = 10 \text{ días}$

$M = \text{Carga Orgánica por día} = 2250 \text{ Kg DBO/día}$

El Volumen de la laguna deberá ser de  $V = Q \times \theta_r = 15,000 \text{ mts}^3/\text{dia} \times 10 \text{ días} = 150,000 \text{ mts}^3$

En este tipo de lagunas la profundidad es de 1.2 a 2.4 mts, por lo que si seleccionamos una profundidad de 2.0 mts. se requiere de un área de  $150,000 \div 2 = 75,000 \text{ mts}^2 = 7.5 \text{ hectáreas} \approx 8 \text{ hectáreas}$

La carga orgánica por día por hectárea es:  $2250 \text{ Kg DBO/día} \div 8 \text{ hectáreas} = 280 \text{ Kg DBO/día-hera}$ , valor que se encuentra fuera del rango de operación de este tipo de lagunas, por lo que es necesario redimensionar las lagunas.

Si el área de las lagunas es de 12 hectáreas y la profundidad de 2.0 mts, tendremos:

$V = \text{Volumen de las lagunas} = 120,000 \text{ mts}^3 \times 2 \text{ mts} = 240,000 \text{ mts}^3$

$\theta_r = 240,000 \text{ mts}^3 \div 15,000 \text{ mts}^3/\text{dia} = 16 \text{ días}$

$M/A = \text{la carga orgánica por unidad de área es: } 2250 \text{ Kg DBO/día} \div 12 \text{ hectáreas} = 187.5 \text{ Kg DBO/día-hera}$ , valor que si se encuentra dentro del rango de operación de las lagunas facultativas.

Laguna Anaerobia:

$$Q=15,000 \text{ mts}^3/\text{día.}$$

$\theta_r$ =Tiempo de retención en la laguna=30 días

M=Carga Orgánica por día =2250 Kg DBO/día

El Volumen de la laguna deberá ser de  $V=Q \times \theta_r=15,000 \text{ mts}^3/\text{día} \times 30 \text{ días}=450,000 \text{ mts}^3$

En este tipo de lagunas la profundidad es de 2.4 a 4.8 mts, por lo que si seleccionamos una profundidad de 4.5 mts. se requiere de un área de  $450,000 \div 4.5=100,000 \text{ mts}^2=10 \text{ hectáreas}$

La carga orgánica por día por hectárea es:  $2250 \text{ Kg DBO/día} \div 10 \text{ hectáreas}= 225 \text{ Kg DBO/día-hectárea}$ , valor que se encuentra adecuadamente dentro de los parámetros de operación de lagunas anaerobias

Laguna de Aireación Intensa:

$$Q=15,000 \text{ mts}^3/\text{día.}$$

$\theta_r$ =Tiempo de retención en la laguna=3 días

M=Carga Orgánica por día =2250 Kg DBO/día

El Volumen de la laguna deberá ser de  $V=Q \times \theta_r=15,000 \text{ mts}^3/\text{día} \times 3 \text{ días}=45,000 \text{ mts}^3$

En este tipo de lagunas la profundidad es de 1.8 a 6 mts, por lo que si seleccionamos una profundidad de 5 mts. se requiere de un área de  $45,000 \div 5=9,000 \text{ mts}^2=0.9 \text{ hectáreas} \approx 1 \text{ hectárea}$

Si el área de las lagunas es de 1 hectárea y la profundidad de 5 mts, tendremos:

$$V=\text{Volumen de las lagunas}=10,000 \text{ mts}^3 \times 5 \text{ mts}=50,000 \text{ mts}^3$$

$$\theta_r=50,000 \text{ mts}^3 \div 15,000 \text{ mts}^3/\text{día}=3.33 \text{ días}$$

En este caso, debido a que el sistema actúa en forma similar a un proceso convencional de lodos activados, la carga orgánica por unidad de área M/A, no es parámetro de diseño del proceso, pero su valor sería= $2250 \text{ Kg DBO/día} \div 1 \text{ hectárea}=2250 \text{ Kg DBO/día-hectárea}$

#### SELECCIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO EN LAGUNAS

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, para cada variación del proceso de tratamiento en lagunas de oxidación o de estabilización, se requiere de un área superficial:

⇒ Laguna Aerobia De Corto Tiempo De Retención: 12 Hectáreas

⇒ Laguna Anaerobia Largo Tiempo De Retención: 15 Hectáreas

⇒ Laguna Facultativa: 12 Hectáreas

⇒ Laguna Anaerobia: 10 Hectáreas

⇒ Laguna De Aireación Intensa: 1 Hectárea

#### PROYECCIÓN:

De acuerdo a la teoría, para una laguna aireada, el grado de remoción de DBO estará dado por la siguiente ecuación:

$$\frac{S_f}{S_o} = \frac{1}{1 + k\theta_r}$$

Donde  $S_f$ =DBO final

$S_o$ =DBO inicial

k=Constante específica de velocidad de reacción =  $0.5 \text{ días}^{-1}$  para la mayoría de las aguas residuales domésticas.

$\theta_r$ = Tiempo de retención del agua en la laguna o reactor

Considerando esta ecuación como válida y que describe apropiadamente el proceso de remoción de DBO, tendremos que en un día de retención se logrará una DBO final de:

$$\theta_r = 1 \text{ día}$$

$$S_o = 105 \text{ mg/lto}$$

$$\frac{S_f}{105} = \frac{1}{1 + (0.5 \times 1)}$$

$S_f = 105 \text{ mg/lto} \times 0.667 = 70 \text{ mg/lto}$

Si el tiempo de residencia es de 3.3 días la DBO del efluente sería:  $S_f = 42 \text{ mg/lto}$ .

#### REQUERIMIENTOS DE AIRE

De acuerdo a los standards de la TNRC, la potencia mínima necesaria para una laguna aireada, no debe ser menos de 8 HP por cada 1000 mts<sup>3</sup> de mezcla en agitación. Bajo este criterio, considerando una laguna de una hectárea en aireación completa o intensa, se requeriría de al menos una potencia de:

Volumen de la laguna =  $10,000 \text{ mts}^2 \times 5 \text{ mts} = 50,000 \text{ mts}^3$

P = Potencia =  $50,000 \text{ mts}^3 \times 8 \text{ HP}/1000 \text{ mts}^3 = 400 \text{ HP}$ .

Considerando la DBO a remover:

DBO a remover =  $15,000 \text{ mts}^3/\text{día} \times (150-50) \text{ grs DBO}/\text{mt}^3 = 1,500,000 \text{ grs} = 1500 \text{ Kgs de DBO}$

También de acuerdo a las normas de TNRCC, se requieren de 1.6 Kgs de oxígeno por cada Kg de DBO a remover, lo cual nos demanda:

Oxígeno requerido =  $1,500 \text{ Kg DBO}/\text{día} \times 1.6 \text{ Kg de oxígeno}/\text{Kg DBO} = 2400 \text{ Kg de O}_2/\text{día}$

#### PROBLEMAS PROPUESTOS

**Problema 1:** Un sistema de lagunas facultativas se diseña para tratar un flujo de 80 lts/seg de aguas residuales de una población. El valor de la DBO promedio es de 240 mg/lto y el área de lagunas a construir es de 4 hectáreas a una profundidad al espejo de agua de 2.5 metros. Para estas lagunas se consideran los siguientes datos de diseño:

Lagunas Facultativas: Cuatro lagunas en serie de  $400 \times 100 \text{ mts}$ . y 2.5 mts de profundidad

Gasto o Flujo Promedio de agua: 80 lts/seg

$k_{20^\circ\text{C}} = 0.25 \text{ días}^{-1}$

Coefficiente de temperatura = 1.065

$T_v$  = Temperatura de diseño en el verano =  $25^\circ\text{C}$

$T_i$  = Temperatura de diseño en el invierno =  $15^\circ\text{C}$

$d$  = Coeficiente de dispersión = 0.5

En base a esta información encuentre:

- La carga orgánica en Kgs DBO/día y la carga orgánica por unidad de área en Kgs DBO/día-hectárea.
- El tiempo de residencia del agua en las lagunas
- El valor de la constante de velocidad de reacción a  $15^\circ\text{C}$  y a  $25^\circ\text{C}$ .
- La eficiencia del proceso en el verano y en el invierno
- La DBO final en verano y en invierno

**Problema 2:** Se trata de implementar un sistema de lagunas aireadas para tratamiento de un efluente de un rastro de pollos que tiene las siguientes características.

Gasto o Flujo Promedio de agua: 45 lts/min

DBO en el influente = 550 mg/lto

$k_{20^\circ\text{C}} = 1.2 \text{ días}^{-1}$

Coefficiente de temperatura = 1.03

$T_v$  = Temperatura de diseño en el verano =  $27^\circ\text{C}$

$T_i$  = Temperatura de diseño en el invierno =  $18^\circ\text{C}$

El flujo de agua se tratará en una laguna como pretratamiento a un posterior tratamiento final en filtro biológico y se desea tener una DBO máxima en la temporada mas fría de 100 mg/lto en el agua residual.



Experimentalmente se ha determinado que  $k$ , el valor de la constante específica de velocidad de reacción es de  $1.2 \text{ días}^{-1}$  a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ .

El coeficiente de temperatura se estima en 1.03 y la temperatura máxima y mínima en el año es de  $27$  y  $18^\circ\text{C}$  respectivamente.

Con esta información encuentre:

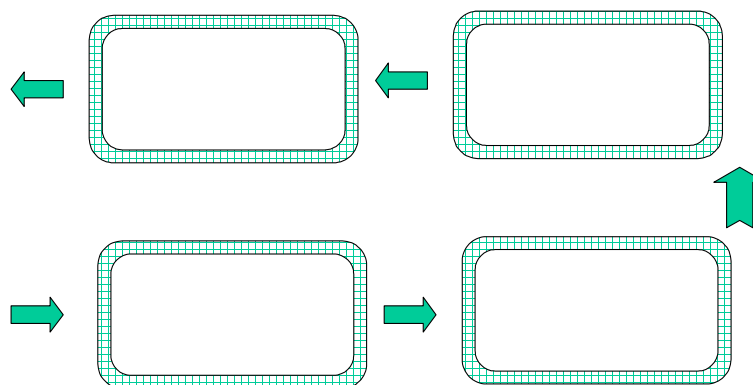
a: El tiempo de tratamiento necesario para tener la remoción de DBO ya especificada. Considere que la profundidad de las lagunas será de 2.5 mts. en el espejo de agua.

b: El área de laguna que se requiere para tener esta eficiencia en remoción de DBO.

c: La DBO final en verano y en invierno

d: La potencia de aireadores necesaria considerando como valor de diseño una potencia de 0.03 Kw por cada  $1000 \text{ mts}^3$  de volumen de agua en las lagunas de aireación.

**Problema 3:** Una industria que procesa lácteos tendrá un arreglo de lagunas similar al que se describe en el diagrama siguiente.



$Q_0=5,000 \text{ mts}^3/\text{día}$   
 $S_0=380 \text{ mg/lto}$

LAGUNAS:  
 Largo: 150 mts  
 Ancho: 50 mts.  
 Profundidad de agua: 3.0 mts.

De acuerdo a la teoría para un arreglo de  $n$  lagunas en serie la ecuación que describe el comportamiento de estas lagunas es:

$$\frac{S_f}{S_0} = \frac{1}{(1 + k\theta/n)^n}$$

$k$  = Constante específica de velocidad de reacción a una temperatura  $T$ ;  $k_T=0.20 \times (1.05)^{T-20}$

$\theta$ =Tiempo de retención del agua en las lagunas

$S_f$ = Concentración del sustrato (DBO) al final del tratamiento

$S_0$ = Concentración del sustrato (DBO) al principio del proceso.

En base a esta información, encuentre el porcentaje de remoción de sustrato y la DBO final, cuando la temperatura es de  $15^\circ\text{C}$  y para una temperatura en el verano de  $26^\circ\text{C}$ .

**Problema 4:** De acuerdo a un estudio realizado por el departamento de calidad del agua en Tennessee, para lagunas aireadas las ecuaciones que definen este proceso son:

$$\frac{S_f}{S_o} = \frac{1}{(1 + 2.3k\theta)}$$

$k_{20}$ =constante específica de velocidad de reacción a 20°C=1.087 para lagunas con mezclado completo.

$k_{20}$ =constante específica de velocidad de reacción a 20°C=0.12 para lagunas con mezclado parcial.

para una temperatura diferente de 20°C

$S_f$ = Concentración del sustrato (DBO) al final del tratamiento

$S_o$ = Concentración del sustrato (DBO) al principio del proceso.

$k_T=(1.036)^{T-20}$

$\Theta$ =tiempo de retención del agua en la o las lagunas.

Se proyecta un sistema de lagunas con mezclado parcial en una localidad que tendrá un efluente de 2,788 mts<sup>3</sup>/día siendo la DBO del agua en el efluente a tratar de 245 mg/L.

a: Encuentre el tiempo necesario de retención para que en invierno a una temperatura del agua de 18°C, se tenga una DBO del agua tratada de 35 mg/L. (Resp 23.7 días)

b: Que volumen de lagunas se requiere para este fin. Considere dos lagunas de aireación en mezclado parcial. (Resp. 33,038 mts<sup>3</sup> por cada una de las dos lagunas)

c: Que área deberán tener las lagunas si la altura será de 4.5 metros. (Resp. 7,342 mts<sup>2</sup> por laguna)

d: En estas mismas lagunas cual será la DBO del mismo volumen de efluente con la misma DBO/L a una temperatura de 22°C promedio. (Resp. 30.5 mg/L).

**Problema 5:** Una comunidad desea procesar sus aguas residuales, las cuales se vierten en un volumen de 2,800 mts<sup>3</sup>/día y con una DBO promedio de 220 mg/L.

Se propone construir un sistema de 4 lagunas de 120 mts de largo y 50 mts. de ancho, por 3.2 metros de altura efectiva en el espejo de agua.

Cual será la carga orgánica en Kg DBO/día-Ha

Si se debe cumplir con la norma que establece que la DBO del agua procesada no debe ser mayor a 30 mg/L, encuentre la eficiencia y la DBO del agua tratada en invierno cuando la temperatura es de 16°C, para evaluar si es posible con este sistema cumplir con la norma.

Encuentre también en este problema:

a: El valor de  $d$  el factor de dispersión de la ecuación de Wehner y Wilhelm

b: El tiempo de retención del agua en las lagunas

c: La carga orgánica y verifique que tipo de laguna es la que se proyecta.

Considere en este problema la ecuación de Wehner y Wilhelm y los datos:

$k=0.25 \text{ días}^{-1}$

$k_T=0.25 \times (1.065)^{T-20}$

Encuentre también la DBO del agua residual en verano a 26°C.

Resp.  $d=0.39$ ,  $\Theta=27.4$  días,  $CrOr=257$  Kg DBO/día-Ha, a 16°C  $a=3.05$  S=11.8 mg/L, a 26°C  $a=4.07$  S=2.7 mg/L

**Problema 6:** Encuentre para la misma comunidad del problema anterior, ( $Q=2,800$  mts<sup>3</sup>/día y con una DBO promedio del agua residual de 220 mg/L) la posibilidad de aireación con mezcla parcial y mezcla total para cumplir con la norma especificada en invierno ( $t=16^\circ\text{C}$ ), de 30 mg DBO/L.

La profundidad efectiva en las lagunas es de 4.6 metros.

Encuentre los datos que se le piden empleando la ecuación:

$$\frac{S_f}{S_o} = \frac{1}{(1 + 2.3k\theta)}$$

$S_f$  = Concentración del sustrato (DBO) al final del tratamiento

$S_o$  = Concentración del sustrato (DBO) al principio del proceso.

$k_{20}$  = constante específica de velocidad de reacción a 20°C = 1.087 para lagunas con mezclado completo.

$k_{20}$  = constante específica de velocidad de reacción a 20°C = 0.12 para lagunas con mezclado parcial.

Para una temperatura diferente de 20°C

$$k_T = (1.036)^{T-20}$$

Encuentre:

a: El tiempo de retención requerido para cumplir con la norma en invierno

b: El área de terreno que se requiere para lagunas aireadas en mezcla parcial y total

c: La DBO del agua residual en verano a 26°C.

Resp: Mezclado parcial: en invierno  $t=16^\circ\text{C}$   $\Theta=26.5$  días,  $S=30$  mg/L  $A=16,108$  mts<sup>2</sup>. En verano  $t=26^\circ\text{C}$   $S=22$  mg/L.

Mezclado total: en invierno  $t=16^\circ\text{C}$   $\Theta=2.01$  días,  $S=30$  mg/L  $A=16,108$  mts<sup>2</sup>. En verano  $t=26^\circ\text{C}$   $S=22$  mg/L.

### **PROBLEMA 1:**

Área de lagunas:  $400 \times 100 = 40,000$  mts<sup>2</sup> = 4 Hectáreas

Si la altura es de 2.5 mts  $V = \text{volumen de las lagunas} = 40,000 \times 2.5 = 100,000$  mts<sup>3</sup>

Gasto =  $Q_o = 80$  lts/seg = 6912 mts<sup>3</sup>/día

a: La carga orgánica es:  $CrOr = 6912$  mts<sup>3</sup>/día  $\times 240$  grs/mts<sup>3</sup>  $\times Kg/1000$  grs = 1658.9 Kg DBO/día

La carga orgánica por unidad de área es:

$1658.9$  Kg DBO/día  $\div 4$  hectáreas = 414.7 Kg DBO/día-ha

b: El tiempo de retención es.

$\Theta = \text{Volumen de lagunas} / Q_o = 100,000$  mts<sup>3</sup> / 6912 mts<sup>3</sup>/día = 14.47 días

c: La constante de velocidad de reacción en invierno y en verano es:

$$k_{25^\circ\text{C}} = 0.25 \times (1.065)^{25-20} = 0.342 \text{ días}^{-1}$$

$$k_{15^\circ\text{C}} = 0.25 \times (1.065)^{15-20} = 0.182 \text{ días}^{-1}$$

d y e: Eficiencia del proceso y DBO residual a 15°C:

$$\frac{S}{S_o} = \frac{4ae^{1/2d}}{(1+a)^2 e^{a/2d} - (1-a)^2 e^{-a/2d}}$$

$S_o = 240$  mg/lto

$d = 0.5$

$k = 0.182$  días<sup>-1</sup>

$\Theta = 14.47$  días

$$a = \sqrt{1 + 4k\Theta d}$$

Si no se conoce el valor del factor de dispersión  $d$ , se puede obtener con la siguiente relación:

$$d = \frac{M}{0.254M + 1.014M^2 - 0.261} \quad M = L/W \text{ donde } L = \text{longitud de la laguna } W = \text{ancho de la laguna}$$

Sustituyendo valores:

$a = 2.5$

$S/S_o = 27.18/149 = 0.182$  y  $S = 43.8$  ppm  
 $\%$  de Remoción de DBO =  $(240 - 43.8) \times 100 / 240 = 81.75\%$

Eficiencia del proceso y DBO residual a 25°C:

$S_o = 240$  mg/lto

$d = 0.5$

$k = 0.342$  días<sup>-1</sup>

$\theta = 14.47$  días

$a = \sqrt{1 + 4k\theta d}$

Sustituyendo valores:

$a = 3.3$

$S/S_o = 35.88/501.11 = 0.0716$  y  $S = 17.2$  ppm

$\%$  de Remoción de DBO =  $(240 - 17.18) \times 100 / 240 = 92.84\%$

### **PROBLEMA 2:**

La constante de velocidad de reacción en invierno y en verano es:

$k_{27^\circ\text{C}} = 1.2 \times (1.03)^{27-20} = 1.476$  días<sup>-1</sup>

$k_{18^\circ\text{C}} = 1.2 \times (1.03)^{18-20} = 1.131$  días<sup>-1</sup>

$$\frac{S_f}{S_o} = \frac{1}{(1 + k\theta)}$$

Despejando  $\theta$ , y considerando  $k = 1.131$  días<sup>-1</sup> el tiempo de residencia de esta ecuación tenemos:  $\theta = 3.98$  días

a:  $\theta = 3.98$  días

Gasto =  $64.8$  mts<sup>3</sup>/día  $\times 3.98$  días =  $258$  mts<sup>3</sup>

Área requerida =  $258$  mts<sup>3</sup> /  $2.5$  mts =  $103$  mts<sup>2</sup>

b: Área requerida =  $103$  mts<sup>2</sup>

c: DBO residual en invierno y verano  $DBO_f$  en invierno =  $100$  mg/lto

En verano  $k = 1.476$

$S_f/S_o = 1 / (1 + 1.476 \times 3.98)$

DBO residual en verano  $DBO_f$  en verano =  $80$  mg/lto

d: Potencia requerida =  $0.03$  Kw/mt<sup>3</sup>  $\times 258$  mts<sup>3</sup> =  $7.74$  Kw =  $10.4$  HP