

DISEÑO DE BIOFILTROS Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

M. I. David Gómez Salas

Congreso Ciencia y Conciencia: compromiso nacional con el medio ambiente
Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. 2000

RESUMEN.

Se presenta una metodología para diseño de biofiltros, el procedimiento contempla: requerimientos de información para el diseño, variables que participan en los procesos, ecuaciones que se aplican para representar el comportamiento de los procesos y criterios aplicables en el diseño de biofiltros. Se analiza la aplicación del biofiltro en el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico o urbano con baja influencia industrial. Se elabora un diseño base y se calcula el comportamiento para diferentes valores de caudal y concentración de DBO en el influente. El análisis de sensibilidad permite obtener un diseño que asegura alcanzar los niveles de calidad deseados en el agua tratada, bajo diferentes restricciones; y además, contribuye a determinar los criterios de operación y control del proceso.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN

2. DATOS BÁSICOS DE DISEÑO

3. ECUACIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO

4. EJEMPLO NUMÉRICO DEL DISEÑO BASE

5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AL DISEÑO BASE. EJEMPLO NUMÉRICO

6. CONCLUSIONES

7. REFERENCIAS

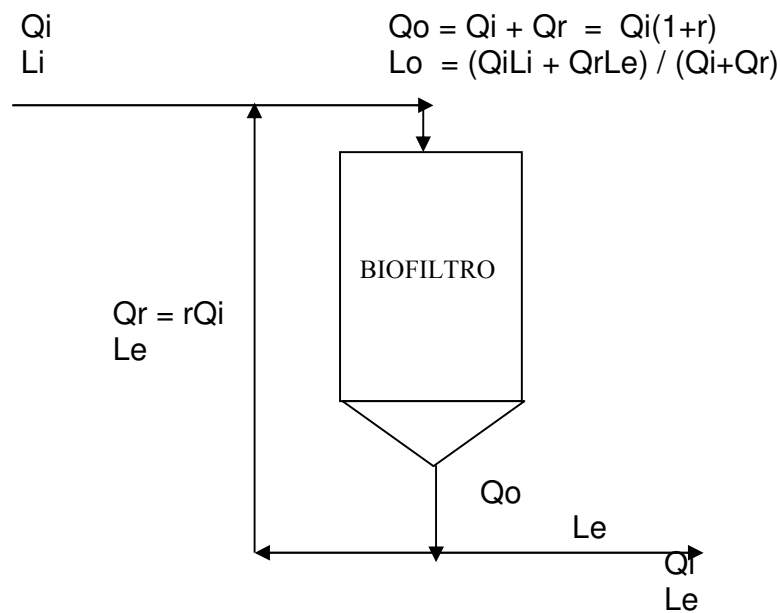
1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo hace referencia a las aplicaciones más comunes proceso del biofiltro, que son los dos casos siguientes:

- El agua residual a pasa a través del biofiltro una sola vez, no hay recirculación alguna.
- El agua residual pasa a través del biofiltro, en promedio, más de una vez. Se recicla el efluente.

En la figura 1 se representa el caso general para los alcances de este trabajo.

Otras aplicaciones menos comunes, son: con recirculación de lodos del biofiltro, con recirculación de lodos activados en un sistema dual, con recirculación de agua tratada clarificada. Estos casos no están incluidos debido a que este trabajo esta orientado a atender el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico y urbano con baja influencia industrial, para lo cual es suficiente un sistema con recirculación del efluente o sin recirculación alguna.



- Q_i = Caudal de agua cruda
- Q_r = Caudal de recirculación
- Q_o = Caudal de influente al Biofiltro
- L_i = Concentración de DBO en agua cruda
- L_e = Concentración de DBO en efluente del biofiltro
- L_o = Concentración de DBO de entrada al Biofiltro
- r = Recirculación = Q_r / Q_i

Figura 1. Representación esquemática del sistema funcional analizado

2. DATOS BÁSICOS DE DISEÑO

En virtud que el diseño del biofiltro generalmente se realiza para remover materia orgánica, la información requerida es la siguiente:

- Qi Caudal promedio diario del agua cruda, generalmente en l/s.
- Li Concentración de DBO en el agua residual cruda, generalmente en mg/l.
- Le Concentración de DBO en el agua residual tratada, generalmente en mg/l
- T1 Temperatura promedio del aire en invierno.
- T1' Temperatura promedio del agua en invierno,
- T2 Temperatura promedio del aire en verano.
- T2' Temperatura promedio del agua en verano

En los casos en que se interesa conocer la remoción de nitrógeno y de fósforo, es necesario contar también con la información siguiente:

Para el agua cruda:

- N_{orgi} Concentración de nitrógeno orgánico, generalmente en mg/l
- N_{NH3i} Concentración de nitrógeno amoniacal, generalmente en mg/l
- PO_{4i} Concentración de fosfatos totales, generalmente en mg/l

Para el agua tratada:

- N_{orge} Concentración de nitrógeno orgánico, generalmente en mg/l
- N_{NH3e} Concentración de nitrógeno amoniacal, generalmente en mg/l
- PO_{4e} Concentración de fosfatos totales, generalmente en mg/l

3. ECUACIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO

Ecuación de Germaín

$$\text{Altura empacada, } Z = \frac{\ln (L_o/L_e) * q^n}{k}$$

Z = Altura del empaque en ft

L_o = DBO del influente en mg/l

L_e = DBO del efluente en mg/l

q = Caudal específico en gpm/ft²

n = Constante del empaque, = 0.5, adimensional.

k = Constante cinética a temperatura media del biofiltro, en gpm^{0.5}/ft²

Área transversal del biofiltro en ft², At

$$At = Qo/q$$

Qo = Caudal del influente en gpm

Área de contacto en ft², Ac

$$Ac = At .Z. D$$

D= Densidad del empaque en ft² / f ft³

Constante cinética de acuerdo a la temperatura.

$$k = k_{20} * 1.035^{T-20}$$

k = Constante cinética a temperatura T en gpm^{0.5}/ ft²

k₂₀ = Constante cinética a 20 °C = 0.8 gpm^{0.5}/ ft²

Cálculo de temperaturas medias para el proceso

Temperatura media del proceso en invierno

$$T_{inv} = (T1' - T1) / LN (T1'/T1), ° C$$

Temperatura media del proceso en verano

$$T_{ver} = (T2' - T2) / LN (T2'/T2), ° C$$

Rango recomendado para caudal específico

$$1.5 \text{ m}^3/ \text{m}^2/\text{d} \leq q \leq 2.0 \text{ m}^3/ \text{m}^2/\text{d}$$

$$0.6138 \text{ gpm} / \text{ft}^2 \leq q \leq 0.8185 \text{ gpm} / \text{ft}^2$$

Verificación de la altura de empaque. Método de carga orgánica específica y eficiencia de remoción

Carga de DBO en el agua cruda en kg/d, Ci

$$Ci = Li * Qi$$

$$\%r = \frac{(Li - Le)}{Li} * 100$$

Los fabricantes de medio plástico ofrecen niveles de remoción de DBO asociados a la carga orgánica específica a 20°C, Cie. En la figura 2 se presenta la gráfica de Hexacell y en la figura 3 la gráfica de Ecotrick. Existen otros fabricantes de estos productos, que cuentan con sus propias gráficas, todas ellas similares para aguas residuales de origen doméstico.

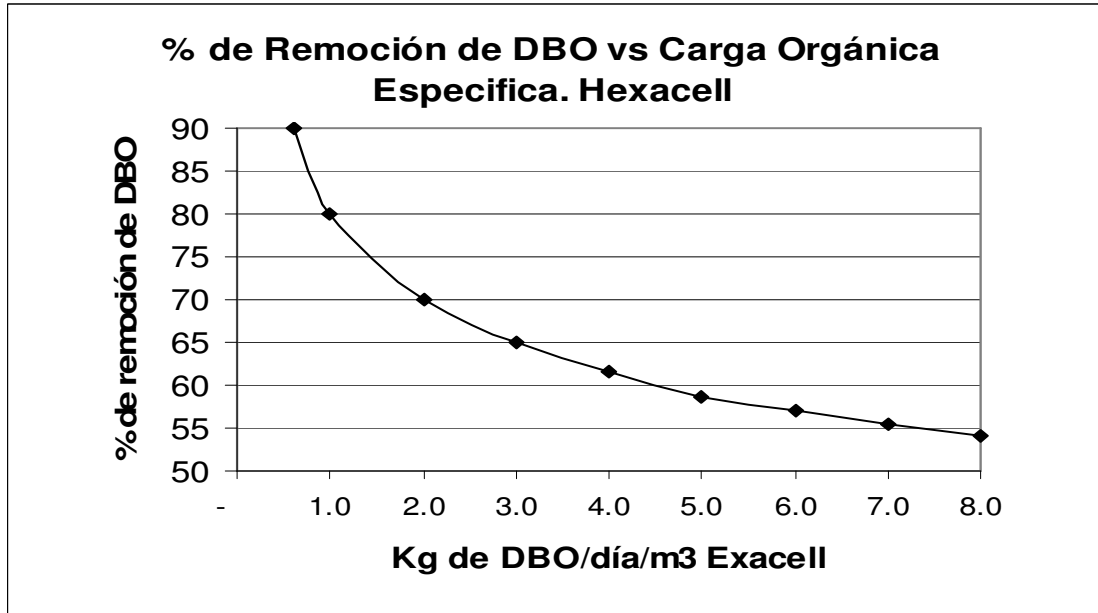


Figura 2. Gráfica con remoción de DBO a diferentes valores de carga orgánica específica a 20°C, Cie. Tomado de Hexacell plastic media.

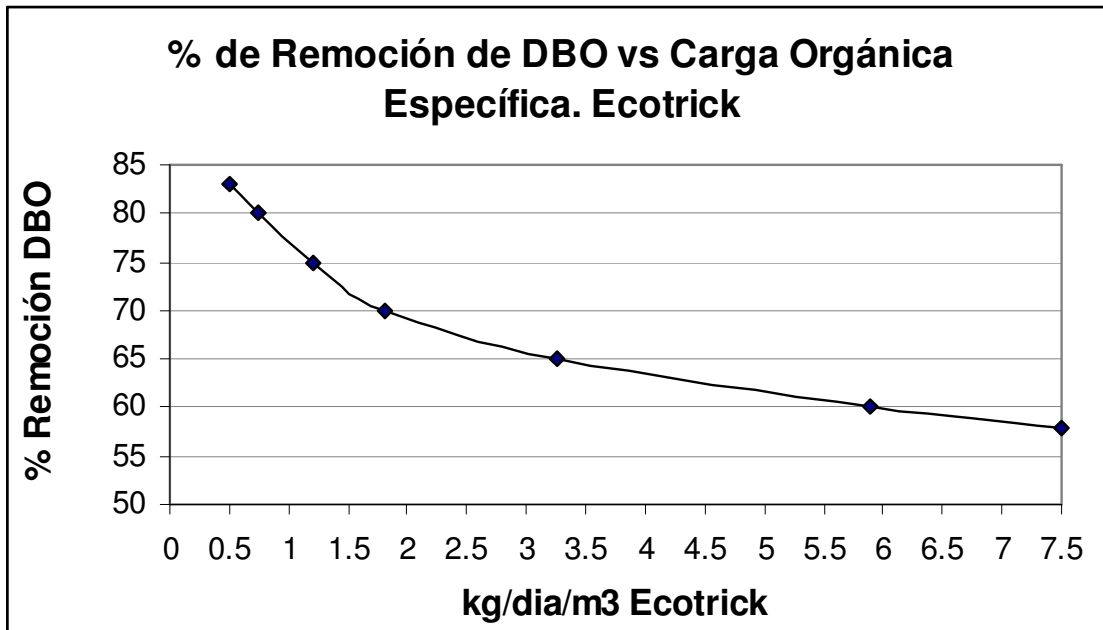


Figura 3. Gráfica con remoción de DBO a diferentes valores de carga orgánica específica a 20°C, Cie. Tomado de Ecotrick Ecoplast.

Carga orgánica específica a T_{inv} en Kg/d/m³, C_{ie_T}

$$C_{ie_T} = C_{bi_{20^{\circ}C}} * 1.035^{(T_{inv}-20)}$$

Cálculo del volumen de empaque en m³, V

$$V = \frac{C_i}{C_{ie}}$$

Nueva altura de empaque en m, Z'

$$Z' = \frac{V}{A_t}$$

Se selecciona la mayor de Z y Z' . (ver ejemplo numérico)

Producción de Sólidos Suspendidos Volátiles, SSV

$$P_{SSV} = 0.35 \text{ g de SSV producidos / g de DBO oxidada}$$

Remoción de nitrógeno amoniacal

$$RN_{NH_3} = 0.60 \text{ g } N_{NH_3} / d / m^2 \text{ (Sedlak p.31)}$$

Se refiere a m² de área de contacto A_c

Remoción de Ortofosfatos

$$RPO_4 = 0.023 \text{ g de } PO_4 / g \text{ de SSV producidos (Sedlak p.92)}$$

Requerimiento de ventilación

$$\text{Área de ventanas} = 2 \text{ m}^2 / 1000 \text{ m}^3 \text{ de empaque.}$$

Peso del empaque con biopelícula por m² de área transversal del biofiltro

$$W = D * Ep * g * Z$$

$$W = \text{Peso / área transversal Ton / m}^2$$

$$D = \text{Densidad del empaque en m}^2 / \text{m}^3$$

$$Ep = \text{Espesor medio de biopelícula } 0.006 \text{ m}$$

$$g = \text{Peso específico promedio } 1.1 \text{ ton / m}^3$$

$$Z = \text{Altura empacada en m}$$

4. EJEMPLO NUMÉRICO DEL DISEÑO BASE

Calcular un biofiltro, para tratar un caudal medio de 350 l/s con 220 mg/l de DBO soluble, 44 mg/l de nitrógeno total, 27.5 mg/l de nitrógeno amoniacal, 16.5 mg/l de nitrógeno orgánico, 19 mg/ de fosfatos totales, 11.4 mg/l de ortofosfatos y 7.6 mg/l de polifosfatos.

El agua tratada debe alcanzar un promedio diario de 77 mg/l de DBO.

No existen valores máximos permisibles para las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el agua tratada.

La temperatura promedio del aire en verano es de 29.8 °C y la temperatura promedio del aire invierno es de 21.9 °C.

La temperatura promedio del agua residual en verano es de 26.9 °C y la temperatura promedio del agua residual en invierno es de 22.9 °C.

El medio plástico tiene 88m²/m³ de empaque.

La película biológica tiene un espesor es de 6 milímetros, el peso específico de la biopelícula es de 1.1 ton/m³.

Determinar:

Diámetro del biofiltro
Recirculación de agua tratada
Altura empacada
Producción de Sólidos Suspendidos Volátiles SSV
Remoción de fósforo y nitrógeno del agua cruda
Peso del medio plástico con biopelícula
Requerimientos de ventilación,

En los cuadros 1, 2, 3 y 4 se presentan los cálculos típicos del diseño funcional base.

Los cuadros corresponden a una hoja de cálculo de Excel, en el cual se aplican las ecuaciones y criterios de diseño mencionadas en el inciso 2.

Cuadro 1. Diseño funcional base parte 1 de 4

DISEÑO FUNCIONAL BASE DEL BIOFILTRO		
Empacado con medio plástico		
Cálculos y resultados típicos		
PLANTA:	Ejemplo Numérico	
CLIMA:	Cálido – Húmedo	
PARA:	Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias	
REFERENCIA:	FEMISCA	
DATOS DE DISEÑO	Unidad	Valor
Caudal de agua cruda, Q_i	l/s	350.00
DBO en el agua cruda, L_i	mg/l	220.00
Remoción de DBO en el agua cruda	%	0.65
DBO en el efluente del biofiltro. L_e	mg/l	77.00
Temperatura promedio del aire en invierno. T_1	°C	21.90
Temperatura promedio del aire en verano. T_2	°C	29.80
Temperatura promedio del agua en invierno, T_1'	°C	22.90
Temperatura promedio del agua en verano, T_2'	°C	26.90
Recirculación, tanto por uno	Adim.	0.50
1. CALCULO DEL DIÁMETRO DEL TANQUE	Unidad	Valor
Caudal de recirculación, Q_r	l/s	175.00
Caudal total de entrada al biofiltro, Q_o	l/s	525.00
Alimentación por unidad, Q_o	m ³ /hr	1,890.00
Carga superficial específica. $q(1,5 \text{ a } 2 \text{ m/hr})$	m ³ /hr	1.75
Área transversal, A .	m ²	1,080.00
Diámetro calculado del tanque.	m	37.08
Diámetro seleccionado del tanque.	m	37.00
Área transversal, A .	m ²	1,075.21
Carga hidráulica superficial resultante. q	m ³ /m ² /hr	1.76

Cuadro 2. Diseño funcional base, parte 2 de 4

DISEÑO FUNCIONAL BASE DEL BIOFILTRO		
Empacado con medio plástico		
Cálculos y resultados típicos		
PLANTA:	Ejemplo Numérico	
CLIMA:	Cálido – Húmedo	
PARA:	Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias	
REFERENCIA:	FEMISCA	
2. CALCULO DE PROFUNDIDAD DEL EMPAQUE.		
Ecuación de Germain	Unidad	Valor
DBO entrada al biofiltro con recirculación, Lo	mg/l	172.33
Carga superficial, q en:	gpm/ft ²	0.716158
Constante específica del empaque, n	Adim.	0.50
Constante k a 20 °C	Gpm ^{0.5} /ft ²	0.08
Temperatura del aire, dentro de biofiltro en invierno. Tinv		
$T_{inv} = (T1' - T1) / LN (T1'/T1)$, ° C	°C	22.40
Constante k a la temperatura T1'		
$k = k_{20} * 1.035 ^ (T1-20)$	día -1	0.09
Profundidad calculada del empaque, D		
$D = (Ln(Lo/Le)*q^n)/k$	ft	7.85
D = En metros	m	2.39
Método de carga orgánica vs eficiencia de remoción	Unidad	Valor
Carga de DBO actuando en el biofiltro, Cbi		
$C_{bi} = Li * Qi$	g/d	6,652,800
Carga de DBO actuando en el biofiltro, Cbi	Kg/d	6,653
Carga orgánica específica, Cbi a 20°C		
De Figura 2, gráfica Hexacell	Kg/d/m ³	2.48
Temperatura del aire, dentro de biofiltro en invierno. Tinv		
$T_{inv} = (T1' - T1) / LN (T1'/T1)$, ° C	°C	22.40
Carga orgánica específica a temp. Media invierno		
$C_{biT} = C_{bi20°C} * 1.035 ^ (T_{inv}-20)$	Kg/d/m ³	2.70
Cálculo del volumen de empaque requerido, m ³	m ³	2,468
Altura del biofiltro en m	m	2.29
Altura seleccionada. De los 2 métodos: la mayor	m	2.39
Altura del paquete de empaque	Ft	2.00
Altura de paquete de empaque	m	0.61
Número de camas de empaque	Adim	4.00
Altura seleccionada en múltiplos del empaque	m	2.44
Volumen de empaque resultante	m ³	2,622
Volumen de empaque resultante	ft	92,587
Carga de DBO con recirculación. Cbo	Kg/d	7,817
Carga de DBO específica con recirculación. Cboe	Kg/d/m ³	2.98

Cuadro 3. Diseño funcional base, parte 3 de 4

DISEÑO FUNCIONAL BASE DEL BIOFILTRO		
Empacado con medio plástico		
Cálculos y resultados típicos		
PLANTA:	Ejemplo Numérico	
CLIMA:	Cálido – Húmedo	
PARA:	Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias	
REFERENCIA:	FEMISCA	
3. CALCULO DE PRODUCCIÓN DE LODOS	Unidad	Valor
SSV producidos / DBO oxidada	Adimensional	0.35
DBO oxidada	mg/s	50,050
SSV producidos	mg/s	17,518
4. CALCULO DE REMOCIÓN DE NITRÓGENO	Unidad	Valor
Concentración de nitrógeno total en agua cruda	mg/l	44.00
Concentración de nitrógeno orgánico, agua cruda	mg/l	16.50
Concentración de nitrógeno amoniacal, agua cruda	mg/l	27.50
Nitrógeno total	mg/s	15,400
Nitrógeno total	g/d	1,330,560
Nitrógeno orgánico	mg/s	5,775
Nitrógeno orgánico	g/d	498,960
Nitrógeno amoniacal	mg/s	9,625
Nitrógeno amoniacal	g/d	831,600
Carga hidráulica aplicada	(l/s)/m ²	0.49
Tasa de remoción (Sedlak p.31)	g/d/m ²	0.60
Área del medio	m ²	230,718
Nitrógeno amoniacal removido	g/d	138,431
Nitrógeno amoniacal remanente	g/d	693,169
Nitrógeno amoniacal remanente	mg/s	8,023
Concentración nitrógeno orgánico	mg/l	16.50
Concentración nitrógeno amoniacal efluente	mg/l	22.92
Concentración nitrógeno total del efluente	mg/l	39.42
5. CALCULO DE REMOCIÓN DE FÓSFORO	Unidad	Valor
Concentración de fosfatos en agua cruda	mg/l	19.00
Concentración de ortofosfatos en agua cruda	mg/l	11.40
Concentración de polifosfatos en agua cruda	mg/l	7.60
Fosfatos totales	mg/s	6,650
Ortofosfatos	mg/s	3,990
Polifosfatos	mg/s	2,660
Ortofosfato removido (Sedlak p.92)	mg/s	402.90
Ortofosfato remanente	mg/s	3,587
Concentración de ortofosfatos en el efluente	mg/l	10.25
Concentración de polifosfato en el efluente	mg/l	7.60
Concentración de fosfatos en el efluente	mg/l	17.85

Cuadro 4. Diseño funcional base, parte 4 de 4

DISEÑO FUNCIONAL BASE DEL BIOFILTRO		
Empacado con medio plástico		
Cálculos y resultados típicos		
PLANTA:	Ejemplo Numérico	
CLIMA:	Cálido – Húmedo	
PARA:	Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias	
REFERENCIA:	FEMISCA	
6. PESO DEL EMPAQUE CON BIOPELICULA	Unidad	Valor
Área de contacto / M3 de empaque	m2/m3	88.00
Espesor de biopelícula, incluye espesor de hoja de PVC	m	0.006
Volumen total biopelícula / m3 de empaque	m3	0.53
Peso específico de biopelícula	ton/m3	1.10
Peso total del medio por m3 de empaque	m3	0.58
Peso unitario para área del biofiltro (altura 2.4m)	ton/m2	1.42
7. CALCULO DE LA VENTILACIÓN	Unidad	Valor
Volumen empaçado	m3	2,622
Ventilación recomendada: m2 / 1000 M3 de empaque	m2/1000m3	2.00
Área de ventilación	m2	5.24
Tamaño de ventanas		
Largo	m	0.60
Alto	m	0.40
Área por ventana	m2	0.24
Número de ventanas calculado	Adimensional	21.85
Número de ventanas seleccionado	Adimensional	24.00
Total de área de ventanas definitivas	m2	5.76

Resumen de la hoja de cálculo.

Diámetro del Biofiltro	=	37.00 m
Altura del lecho empaçado	=	2.43 m (8 pies)
mg/l de DBO agua cruda	=	220.00 mg/l
mg/l de nitrógeno agua cruda	=	44.00 mg/l
mg/l de fosfatos agua cruda	=	19.00 mg/l
mg/l de DBO agua tratada	=	77.00 mg/l
mg/l de nitrógeno agua tratada	=	39.42 mg/l
mg/l de fosfatos agua tratada	=	17.85 mg/l
Gasto masa de DBO agua cruda	=	77.00 g/s = 6,653 Kg/d
Gasto masa de remoción de DBO	=	50.05 g/s = 4,324 kg/d
Gasto masa de producción de SSV	=	17.51 g/s = 1,513 kg/d

5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AL DISEÑO BASE. EJEMPLO NUMÉRICO

La información y gráficas de este inciso corresponden a una hoja de cálculo de Excel.

Cuadro 5. Análisis de sensibilidad por recirculación

ANÁLISIS DEL DISEÑO BASE				
Biofiltro empacado con medio plástico.				
Cálculos y resultados típicos				
PLANTA:	Ejemplo numérico			
CLIMA:	Cálido - Húmedo			
PARA:	Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales			
REFERENCIA:	FEMISCA			
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD POR:				
EFFECTO DE LA RECIRCULACION, R			Unidad	Valor
Caudal de agua cruda, Q			l/s	350
DBO en el agua cruda, Lf			mg/l	220
Diametro del tanque, D			m	37
Altura empacada seleccionada, H			ft	8
Area transversal, A			m ²	1,075
Constante k a la temperatura Tinv			dia ⁻¹	0.087
Constante específica del empaque, n			Adim.	0.50
$A = e^{H \cdot K / (q^n)}$ $Le = Lf / (A(1+R) - R)$				
R	Q+R	q	A = EXP	Le
%	l/s	gpm/ft ²	H*K / (q^n)	mg/l
0%	350	0.480	2.728	80.6
10%	385	0.528	2.604	79.6
20%	420	0.575	2.500	78.6
30%	455	0.623	2.411	77.6
40%	490	0.671	2.335	76.7
50%	525	0.719	2.269	75.8
60%	560	0.767	2.211	74.9
70%	595	0.815	2.159	74.1
80%	630	0.863	2.113	73.3
90%	665	0.911	2.071	72.5
100%	700	0.959	2.033	71.7

Se observa que 30% de recirculación promedio serían suficientes para alcanzar la concentración de 77 mg/l de DBO en el agua tratada. Utilizar 50% de recirculación asegura la eficiencia de remoción requerida. La figura 4 muestra resultados para recirculación de 0 a 100%.

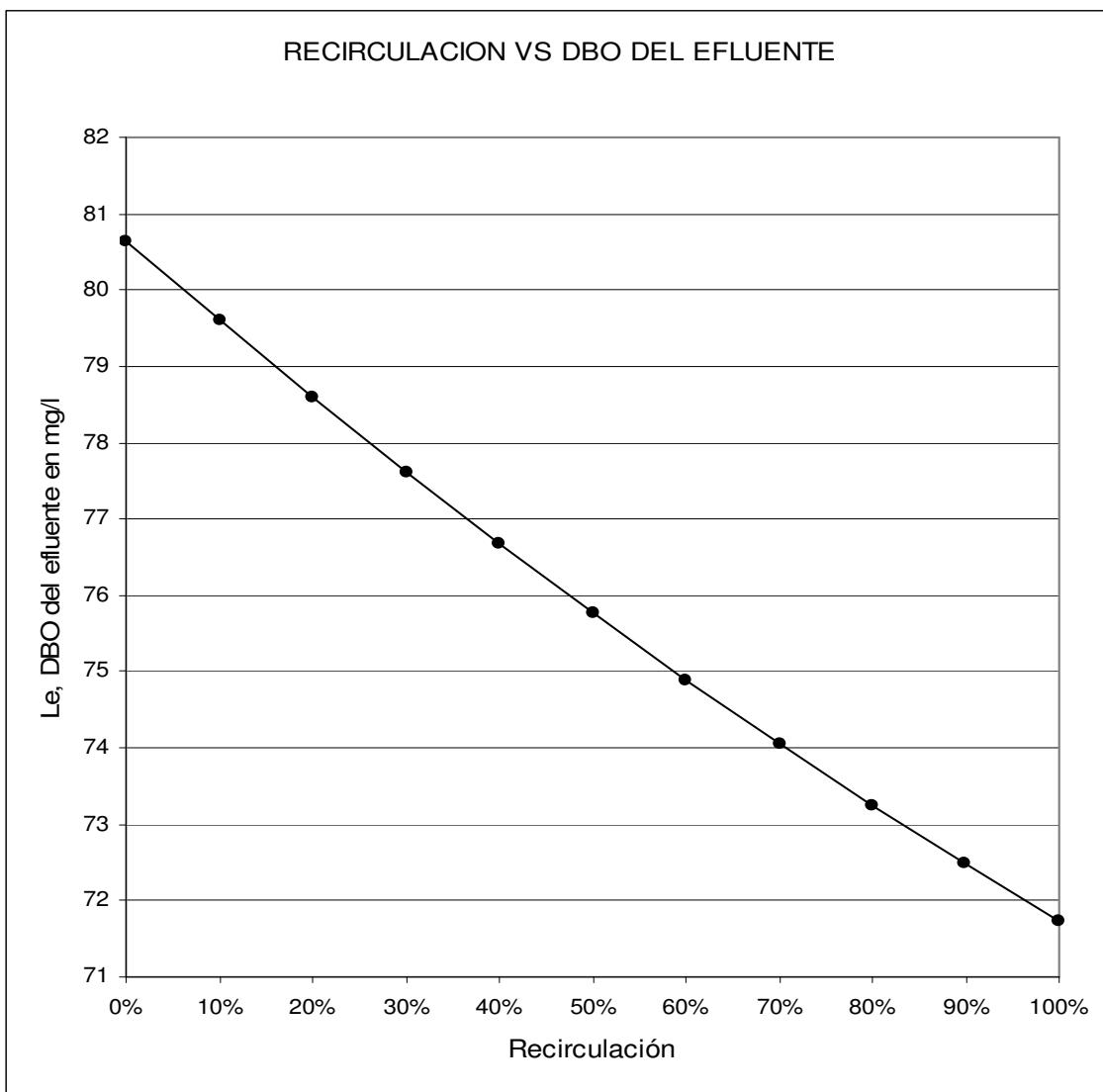


Figura 4. Efecto de la recirculación sobre la calidad del agua tratada.

Cuadro 6. Análisis de sensibilidad por caudal de entrada

ANALISIS DEL DISEÑO BASE					
Biofiltro empacado con medio plástico.					
Cálculos y resultados típicos					
PLANTA:	Ejemplo numérico				
CLIMA:	Cálido - Húmedo				
PARA:	Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales				
REFERENCIA:	FEMISCA				
ANALISIS DE SENSIBILIDAD POR:					
VARIACION DEL CAUDAL DE ENTRADA, Q					
				Unidad	Valor
DBO en el agua cruda, Lf				mg/l	220
Altura empacada seleccionada, H				ft	8
Area transversal, A				m ²	1,075
Constante k a la temperatura Tinv				dia ⁻¹	0.087
Constante específica del empaque, n				Adim.	0.50
	Q	Q+R	q	A = EXP	Le
	L/S	l/s	gpm/ft ²	H*K / (q^n)	mg/l
	250	375	0.514	2.64	63.7
	270	405	0.555	2.54	66.4
	290	435	0.596	2.46	69.0
	310	465	0.637	2.39	71.4
	330	495	0.678	2.33	73.6
	350	525	0.719	2.27	75.8
	370	555	0.760	2.22	77.8
	390	585	0.802	2.17	79.7
	410	615	0.843	2.13	81.5
	430	645	0.884	2.09	83.3
	450	675	0.925	2.06	84.9

Se observa que 370 l/s de caudal promedio de agua cruda serían suficientes para alcanzar la concentración de 77 mg/l de DBO en el agua tratada. La figura 5 muestra resultados para caudal promedio de 250 l/s a 450 l/s de agua cruda

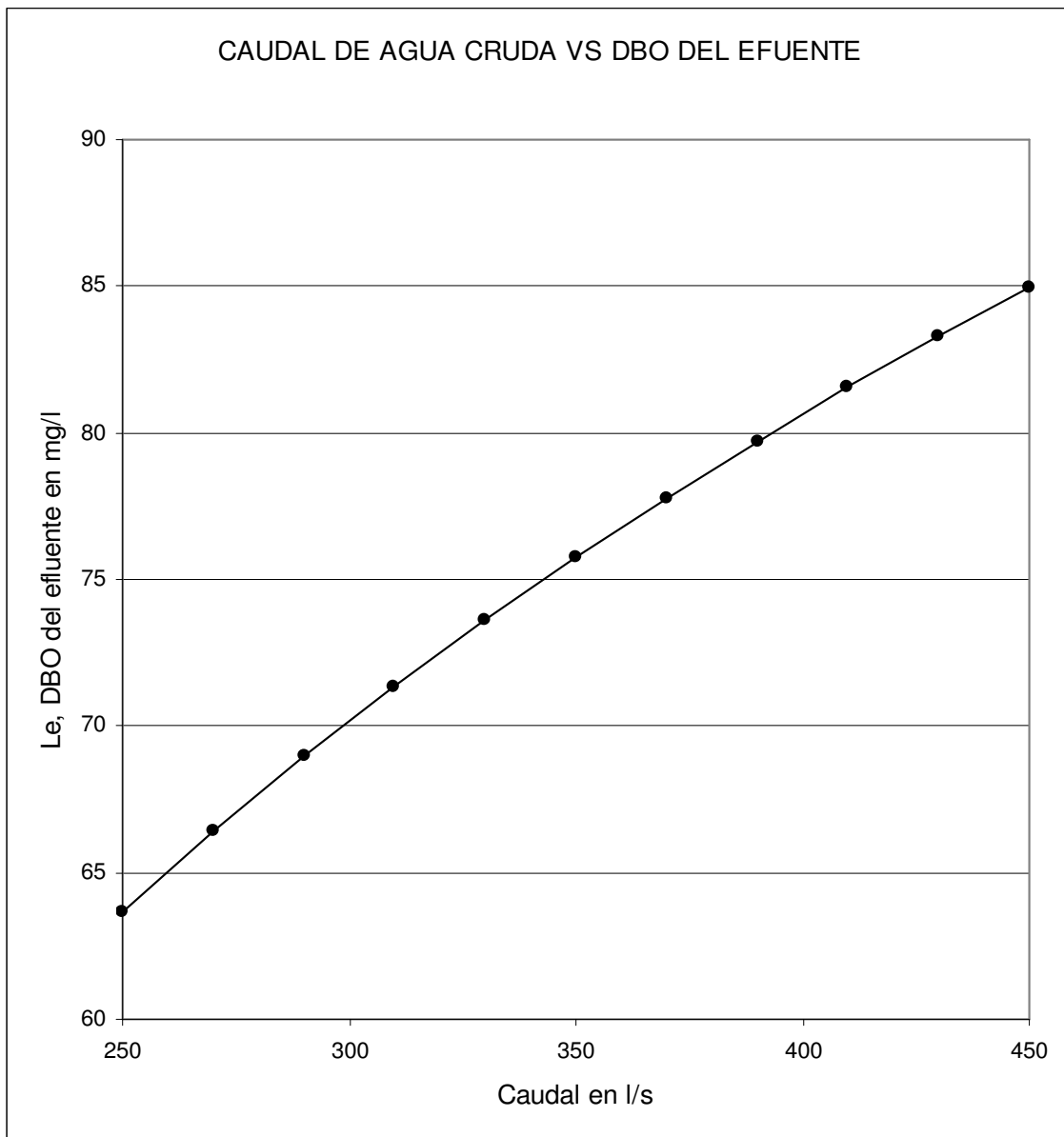


Figura 5. Efecto del caudal de agua cruda sobre la calidad del agua tratada.

Cuadro 7. Análisis de sensibilidad por DBO del agua cruda.

ANALISIS DEL DISEÑO BASE		
Biofiltro empacado con medio plástico.		
Cálculos y resultados típicos		
PLANTA:	Ejemplo numérico	
CLIMA:	Cálido - Húmedo	
PARA:	Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencia	
REFERENCIA:	FEMISCA	
ANALISIS DE SENSIBILIDAD POR:		
VARIACION EN DBO DE ENTRADA, Lf		
	Unidad	Valor
Caudal de agua cruda, Q	l/s	350
Area transversal, A	m ²	1,075
Altura empacada seleccionada	ft	8
Constante k a la temperatura Tinv	dia ⁻¹	0.087
Constante específica del empaque, n	Adim.	0.50
Caudal de entrada con recirculación, Q+R	l/s	525.00
Carga hidráulica superficial	gpm/ft ²	0.72
Parámetro de cálculo parcial $A = e^{(H*K/(q^n))}$		2.269
DBO del efluente, $Le = Lf / (A(1+R) - R)$		
	Lf	Le
	mg/l	mg/l
	120	41.3
	140	48.2
	160	55.1
	180	62.0
	200	68.9
	220	75.8
	240	82.7
	260	89.5
	280	96.4
	300	103.3
	320	110.2

Se observa que aún con 250 mg/l de DBO en el agua cruda se podría alcanzar la concentración de 77 mg/l de DBO en el agua tratada. La Figura 6 muestra resultados desde 120 mg/l a 320 mg/l de DBO en el agua cruda

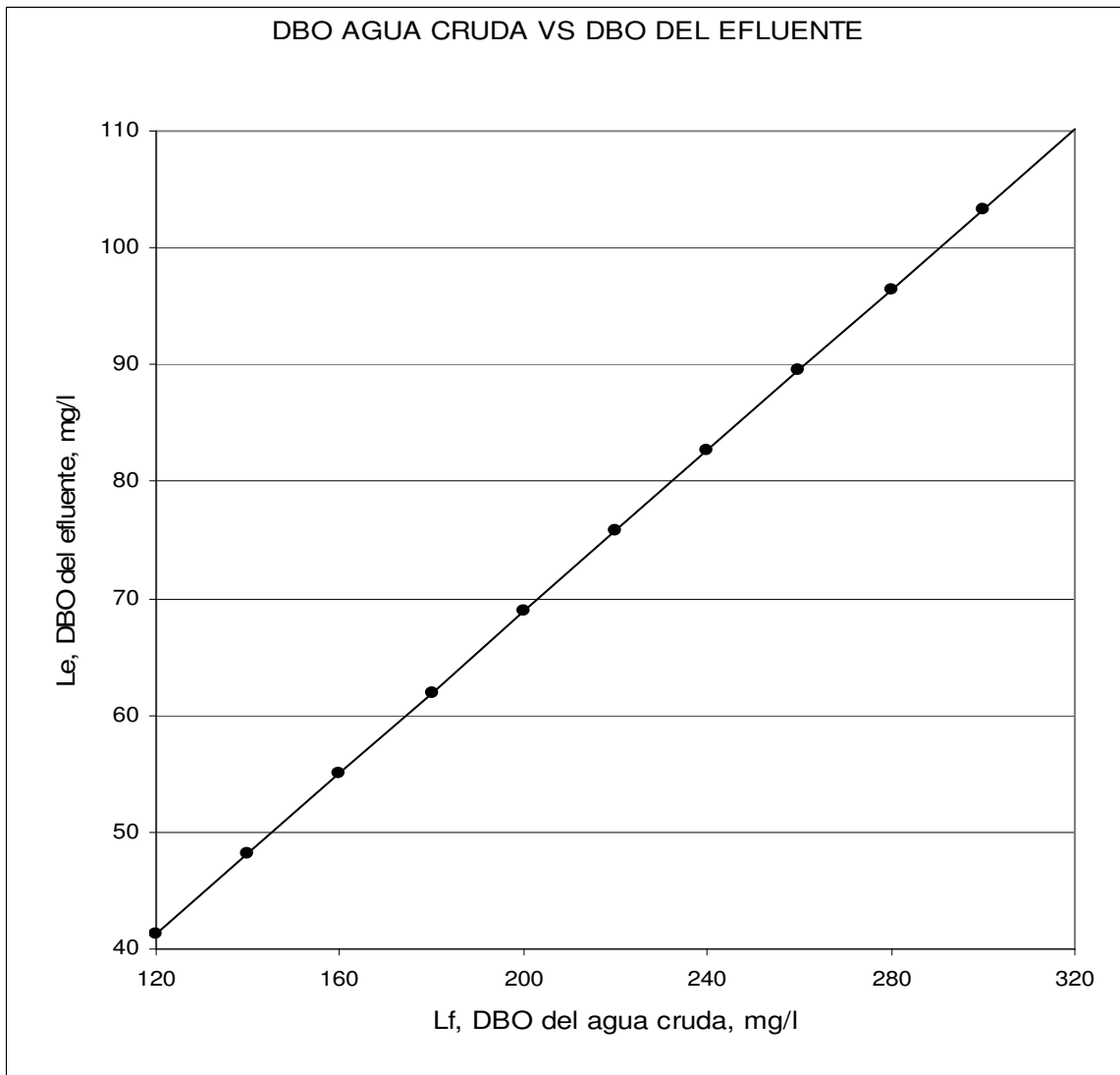


Figura 6. Efecto de la DBO en el agua cruda, sobre la calidad del agua tratada.

Cuadro 8. Análisis de sensibilidad por temperatura en biofiltro

ANÁLISIS DEL DISEÑO BASE			
Biofiltro empacado con medio plástico.			
Cálculos y resultados típicos			
PLANTA:	Ejemplo numérico		
CLIMA:	Cálido - Húmedo		
PARA:	Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales		
REFERENCIA:	FEMISCA		
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD POR:			
VARIACION DE TEMPERATURA MEDIA EN BIOFILTRO, Tmed			
DBO en el agua cruda, Lf		mg/l	220.00
Altura empacada seleccionada, H		ft	8.00
Constante específica del empaque, n		Adim.	0.50
Carga hidráulica superficial		gpm/ft ²	0.72
$A = e^{H \cdot K / (q^n)}$ $Le = Lf / (A(1+R) - R)$			
Tmed	k	A = EXP	Le
°C	dia ⁻¹	H·K / (q ⁿ)	mg/l
16.0	0.070	1.930	91.9
17.0	0.072	1.975	89.3
18.0	0.075	2.023	86.8
19.0	0.077	2.073	84.3
20.0	0.080	2.127	81.8
21.0	0.083	2.184	79.3
22.4	0.087	2.269	75.8
23.0	0.089	2.309	74.3
24.0	0.092	2.377	71.8
25.0	0.095	2.450	69.3
26.0	0.098	2.528	66.8
27.0	0.102	2.612	64.4
28.0	0.105	2.701	61.9
29.0	0.109	2.797	59.5
30.0	0.113	2.899	57.2
31.0	0.117	3.009	54.8
32.0	0.121	3.128	52.5
33.0	0.125	3.255	50.2
34.0	0.129	3.392	47.9
35.0	0.134	3.540	45.7
36.0	0.139	3.700	43.6

Se observa que aún con temperatura promedio de 20 °C en el biofiltro se podría alcanzar la concentración de 77 mg/l de DBO en el agua tratada. La gráfica 7 muestra resultados desde 16 °C a 36 °C de temperatura promedio en el biofiltro.

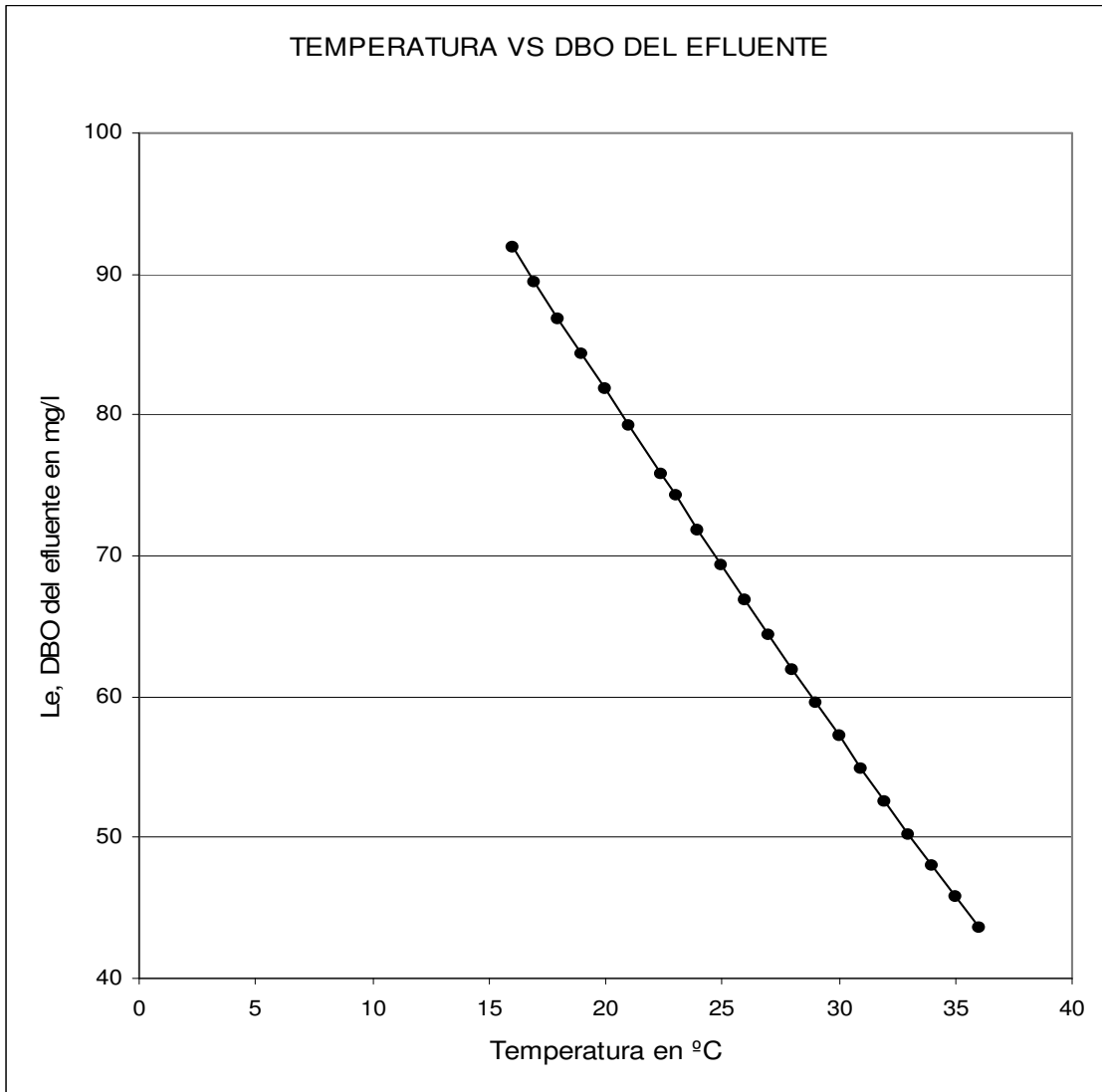


Figura 7. Efecto de la temperatura promedio en el biofiltro, sobre la calidad del agua tratada

6. CONCLUSIONES

La aplicación de las ecuaciones y criterios de diseño, se explica con ejemplos numéricos, para facilitar su comprensión. Sin embargo se recomienda no perder de vista los conceptos teóricos que sustentan dichos criterios y ecuaciones.

Las ecuaciones de diseño de ingeniería sanitaria, son aplicables a las condiciones promedio que se presentan durante 24 horas del día. Las variaciones horarias ya están contempladas en dichas ecuaciones, en virtud que las condiciones máximas y mínimas solo se presentan por algunas horas al día.

Cuando las variaciones promedio al día son mayores a las que normalmente se presentan en los sistemas urbanos de alcantarillado, (el caudal varía según número de Harmon y las concentraciones de DBO, N, P varían 10 %); es posible modificar las condiciones de operación para lograr la calidad deseada en el agua tratada.

El análisis de sensibilidad se realiza con la intención de alcanzar la calidad deseada en el agua tratada, aún cuando no se presenten los valores establecidos en los datos de diseño. Los proyectistas pueden realizar análisis postóptimos a sus diseños básicos, para prever las soluciones.

Se puede determinar como debe operar la recirculación para alcanzar la DBO deseada en el agua tratada, a pesar de variar la concentración promedio de DBO en el agua cruda ó de variar el caudal promedio diario. Permite seleccionar mejor las características de la estación de bombeo de la recirculación y sus parámetros de control.

7. REFERENCIAS

- Ecotrick. (1991). Attuale Corpo di riempimento a geometría ordinata per biofiltri. Ecoplast Nuova. Cesano Maderno. Italia.
- Hexacell. (1990). Manual of application technology for biological filters filled with Hexacell. Pannomplast. Budapest. Hungary.
- Metcalf & Eddy. (1991). Wastewater Engineering. Treatment, disposal and reuse. Third edition. McGraw-Hill international editions. USA
- Sedlak R. (1991). Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater. Principles and practice. Second Edition. Lewis Publishers.
- Vismaro R. (1988). Depurazione Biologica. Teoria e processi. Seconda edizione. Editore Ulrico Hoepli Milano. Italia.
- Water Environmental Federation, American Society Engineers (1998). Design Municipal Wastewater Treatment Plants. Fourth Edition. USA.