

Biotecnología del Petróleo



Mgter Ing. José Antonio Gálvez



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO
MENDOZA, ARGENTINA

BIOPROCESOS



FACULTAD
DE INGENIERÍA

Reactores para tratamiento de agua superficiales



Tipos de biorreactores:

Microorganismos suspendidos: Los sistemas suspendidos pueden ser lodos activados, lechos fluidizados o reactores discontinuos secuenciales. El agua circula en un sistema donde los microorganismos degradan el contaminante. De acuerdo al tipo de contaminante el tratamiento puede ser anaerobio o aerobio o una combinación secuencial de ambos. Las células forman un lodo que se separa y se dispone o bien se recircula según el caso.

Microorganismos inmovilizados

En los sistemas inmovilizados el agua se pasa sobre un biofilm adherido a una superficie sólida que puede formar un bioreactor de lecho fijo, un reactor biológico de contacto (RBCs) o un filtro de goteo.

Nuevas tecnologías:

Reactores con carbón activado: libera el contaminante lentamente.

Humedales

Reactores en columna



Filtro de goteo: es un sistema que el agua se distribuye sobre un medio filtrante formado por un medio altamente poroso y un sistema de drenaje.

El contaminante se degrada aeróbicamente al circular sobre un medio con microorganismos inmovilizados. Las dimensiones del filtro varían de 0,9 a 2,5 m. Posee un sistema de recolección del agua en la parte inferior y puede ser tratada en otro reactor para su purificación

La duración del tratamiento y el mantenimiento del sistema de rociado depende de la cantidad de tiempo necesario para tratar el contaminante. Se requiere monitoreo del agua tratada y de la acumulación de metales



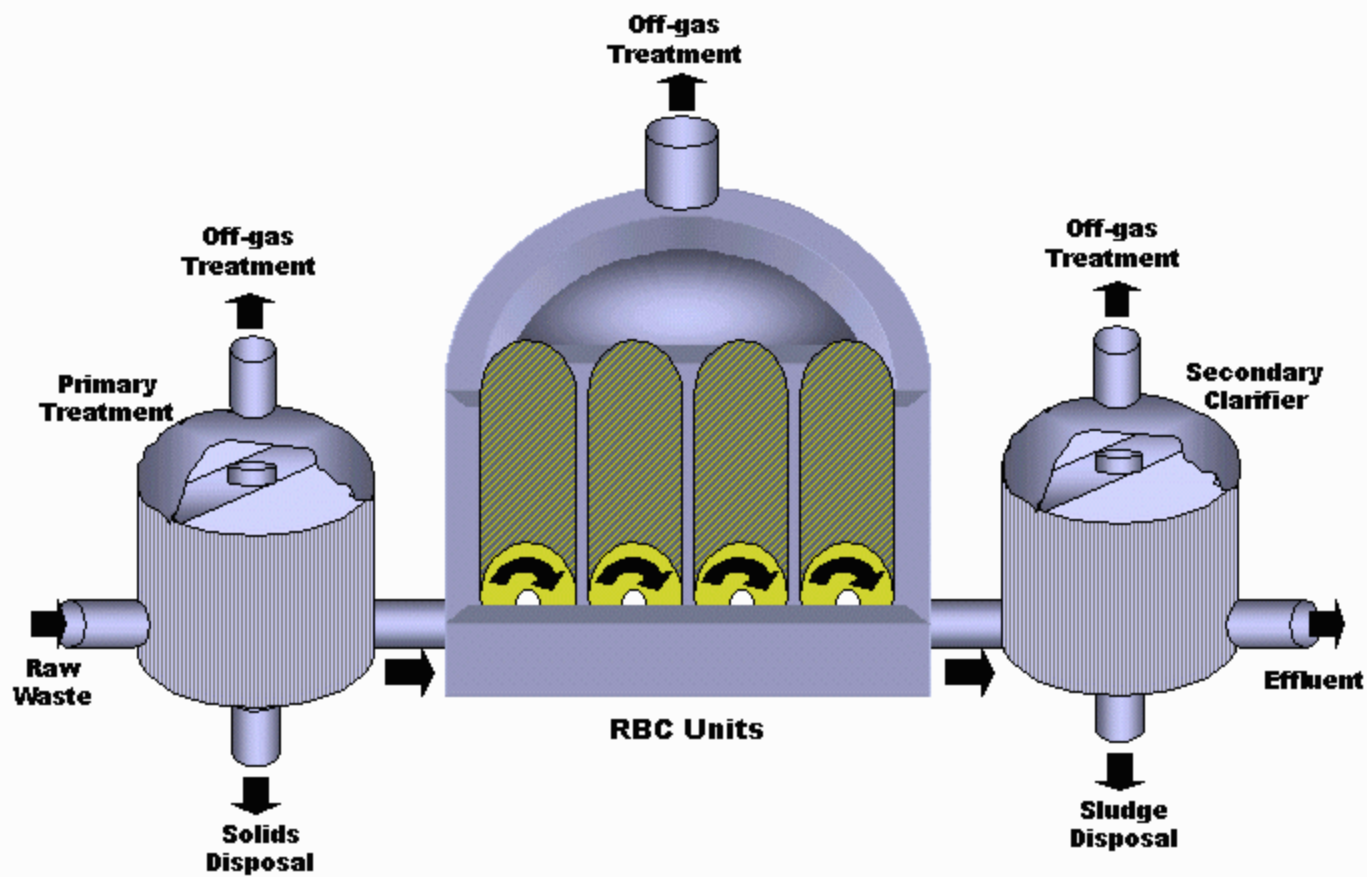
Aplicación

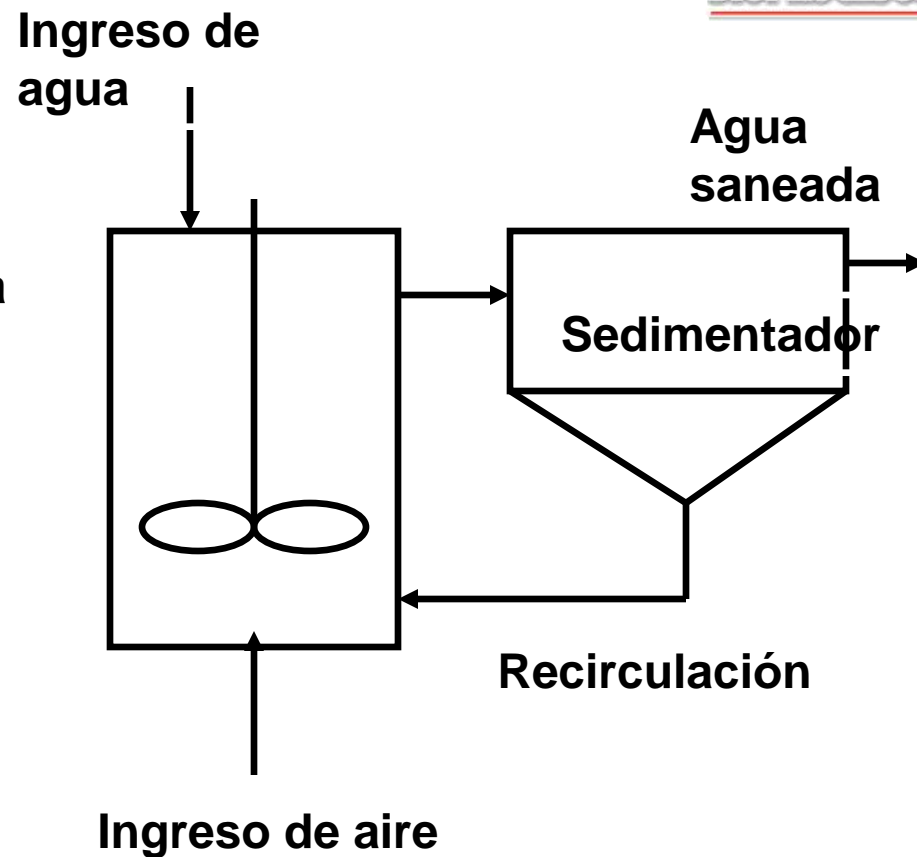
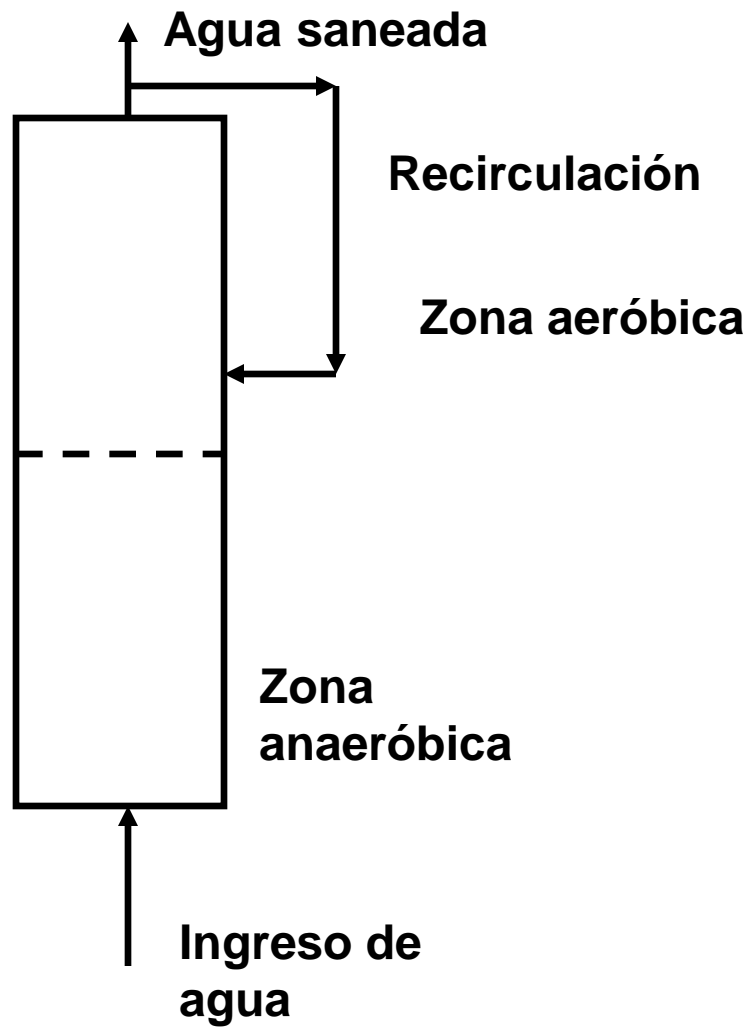
SVOCs, hidrocarburos (combustibles), y cualquier material orgánico biodegradable. Algunos pesticidas, PCP, clorobenceno y sus isómeros. Cuando se usan cometabolitos: PCBs, VOCs halogenados, y SVOCs.

Limitaciones

- **La dilución en el agua del contaminante frecuentemente no permite mantener una densidad de población adecuada (poco Carbono)**
- **Se deben agregar nutrientes**
- **Hay restricciones para tratar contaminantes muy tóxicos y se requiere un diseño especial.**
- **Se requiere controlar la contaminación del aire en lodos activados.**
- **Si las temperaturas ambientales o el agua es fría se debe calentar el medio para llevar a cabo el proceso.**
- **Estos reactores a veces son colonizados por microorganismos no deseados.**
- **Los lodos residuales requieren tratamiento posterior.**
- **Puede haber problemas de descarga de efluentes**
- **Hace falta inocular el agua.**
- **Se deben agregar nutrientes**
- **Los procesos demoran algunos años**







columna

con recirculación
biomasa



Cinética de crecimiento discontinuo

$$dX/dt = \mu X$$

$$\mu = \mu_{\max} \cdot S/(K_s + S) \text{ (Monod)}$$

$$dX/dt = \mu_{\max} \cdot S \cdot X / (K_s + S)$$

$$Y = (dX/dt)/(dS/dt) = dX/dS$$

$$dS/dt = \mu_{\max} \cdot S \cdot X / [Y(K_s + S)]$$

$$k = \mu_{\max}/Y$$

$$dS/dt = k S \cdot X / (K_s + S)$$

$$dX/dt = Y \cdot k \cdot S \cdot X / (K_s + S)$$

Como no todas las células proliferan, algunas mueren y otras están en fase de latencia

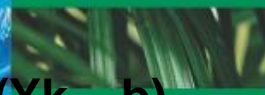
$$dX/dt = Y \cdot k \cdot S \cdot X / (K_s + S) - bX$$

Los coeficientes se deben determinar experimentalmente

Cuando hay inhibición por sustrato o tóxica

$$dS/dt = k \cdot S \cdot X / (K_s + S + S^2/K_1) \text{ (Andrews)}$$

$$dX/dt = 0 = Y \cdot k \cdot S \cdot X / (K_s + S) - bX \quad > \quad S_{\min} = bK_s / (Yk - b)$$



Cinética de crecimiento continuo

$$dX/dt = \mu X - DX$$

Donde D es la velocidad de dilución

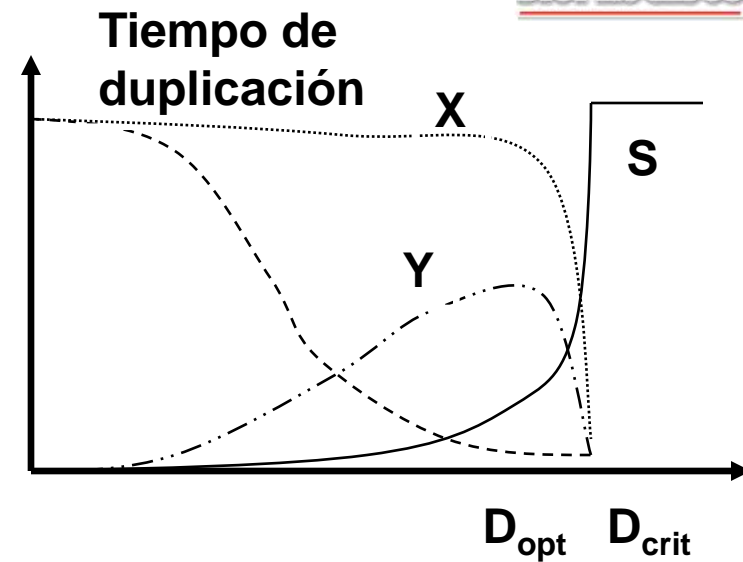
$$D = Q/V$$

Si $\mu = 0$ $dX/dt = -DX$

$$dX/dt = \mu_{\max} \cdot S \cdot X / (K_s + S) - DX$$

$$Y = (dX/dt)/(dS/dt) = dX/dS$$

$$dS/dt = [\mu_{\max} \cdot S \cdot X / (K_s + S) - DX]/Y$$



Si definimos

θ_h = tiempo retención hidráulica = V/Q

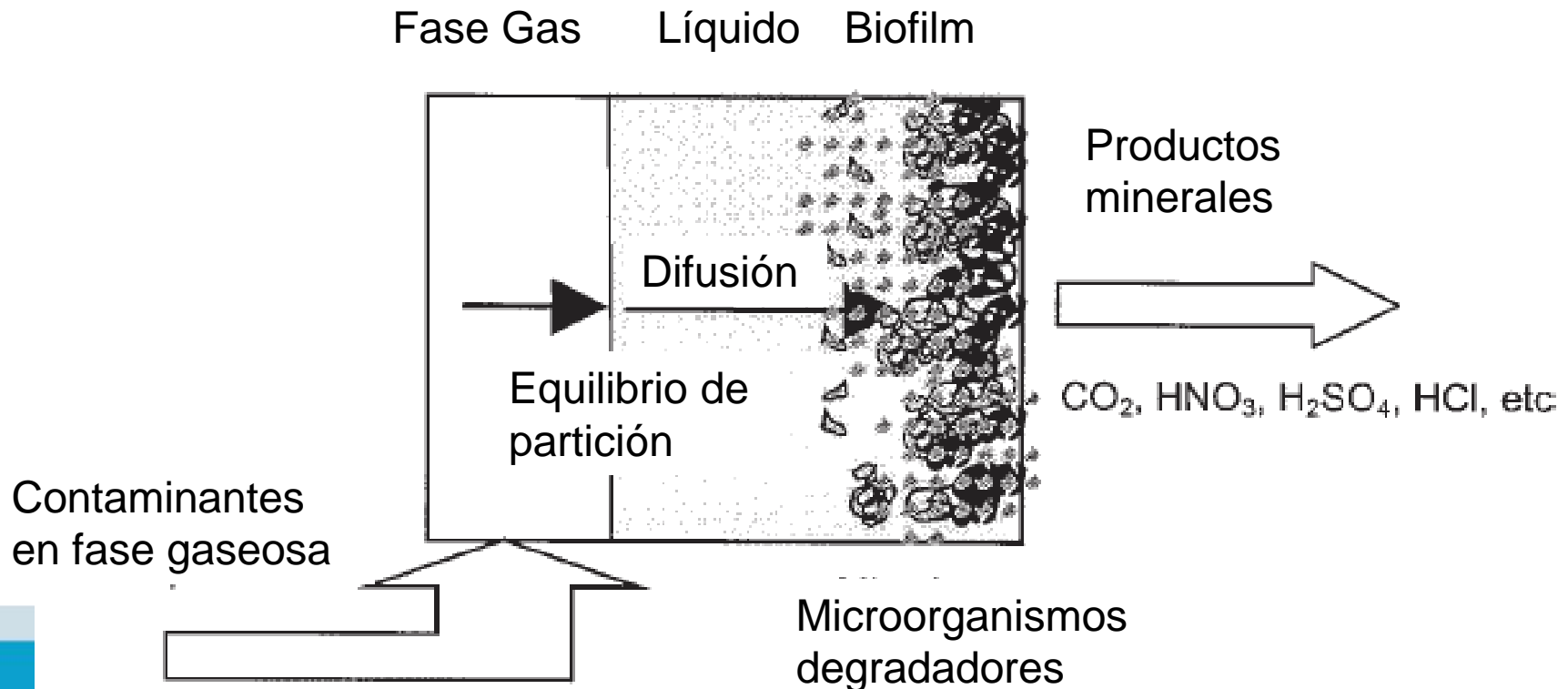
θ_c = tiempo de retención de sólidos = $XV/\text{velocidad de eliminación de biomasa}$

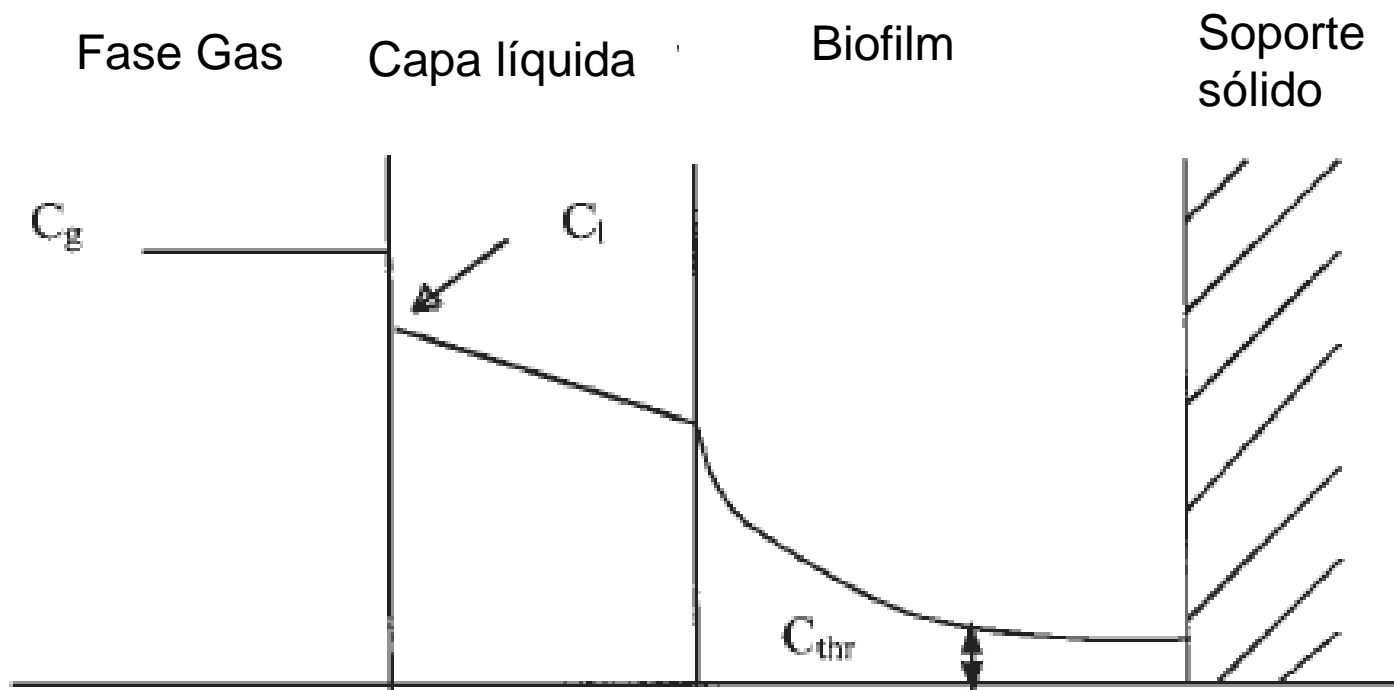
	Mezcla completa sin recirculación de sólidos	Mezcla completa con recirculación de sólidos
Concentración sustrato efluente	$S = K_s (1 + b \theta_c) / \theta_c (Yk - b) - 1$	$S = K_s (1 + b \theta_c) / \theta_c (Yk - b) - 1$
Concentración de biomasa	$X = Y(S_0 - S) / (1 + b \theta_c)$	$X = Y(S_0 - S) \theta_c / (1 + b \theta_c) \theta_h$
Tiempo crítico de retención de sólidos	$1/(\theta_c)^M = YkS_0 / (K_s + S_0) - b$	$1/(\theta_c)^M = YkS_0 / (K_s + S_0) - b$
Concentración del material inerte en el reactor	$I = I_0$	$I = I_0 \theta_c / \theta_h$



PURIFICACIÓN BIOLÓGICA DE GASES

Consiste en disolver un gas contaminante arrastrado por una corriente en agua y luego degradarlo por los microorganismos presentes en el líquido o adherido sobre un soporte sólido





Disolución del gas al líquido. Cte o coeficiente de Henry

$$K_H = \frac{C_g}{C_l} \qquad \ln K_H = \frac{a}{T} + b * Z + c \qquad S = \frac{C_m}{C_g}$$

C_g = concentración en gas

C_l = concentración en líquido

T = temperatura absoluta

Z = concentración de sales

C_m = concentración en membrana

S = coeficiente de solubilidad

<i>Compound:</i>	<i>Ethanol</i>	<i>Butanone</i>	<i>Isobuteral- dehyde</i>	<i>Dimethyl- sulfide</i>	<i>Trichloro- ethene</i>	<i>Limonene</i>	<i>Hexane</i>
K_H (25 °C)	0.00021	0.0023	0.0074	0.0658	0.403	0.82	74

Difusión en el líquido

$$J = -D * \frac{dC_l}{dx}$$

J : Mol m⁻² s⁻¹ o g m⁻² s⁻¹

D : m² s⁻¹

<i>Compound</i>	<i>D_{air}</i> (m ² s ⁻¹)	<i>D_{water}</i> (m ² s ⁻¹)	<i>Membrane</i> <i>Material</i>	<i>D_{membrane}</i> (m ² s ⁻¹)
Oxygen			natural rubber	2.5 × 10 ⁻¹⁰
Oxygen (25 °C)	1.40 × 10 ⁻⁵	2.50 × 10 ⁻⁹	polydimethyl siloxane (35 °C)	4.0 × 10 ⁻⁹
Ethanol	1.24 × 10 ⁻⁵	1.13 × 10 ⁻⁹	poly(vinyl acetate)	1.5 × 10 ⁻¹³
CO ₂	1.64 × 10 ⁻⁵	2.00 × 10 ⁻⁹	PMDA-MDA (20 °C)	9.0 × 10 ⁻¹³
Benzene	1.20 × 10 ⁻⁵	1.30 × 10 ⁻⁹	poly(vinyl acetate)	4.8 × 10 ⁻¹⁷



Degradación biológica del contaminante

Ecuación de Monod modificada

$$\frac{dC_l}{dt} = \left(\frac{\mu}{Y_{xs}} \right) * X$$

X : concentración de biomasa g m^{-3}

Y_{xs} = rendimiento o productividad biomasa sustrato

C_l concentración del contaminante en fase líquida g m^{-3}

μ : Velocidad de crecimiento $\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$

Ecuación de Monod

$$-\frac{dC_l}{dt} = K * \frac{C_l}{K_s + C_l}$$

K : velocidad máxima de crecimiento

K_s : Concentración de sustrato a la cual la velocidad de crecimiento es la mitad de la máxima

$$-\frac{dC_l}{dt} = k * C_l$$



Combinando según Ottengraf y Van Den Oever para un biofiltro

$$\frac{C_{gsal}}{C_{gin}} = 1 - \frac{A_s H}{U_g} * \sqrt{\frac{kD}{2Cg i_{nm}}}$$

A_s : área específica (m^2/m^3)

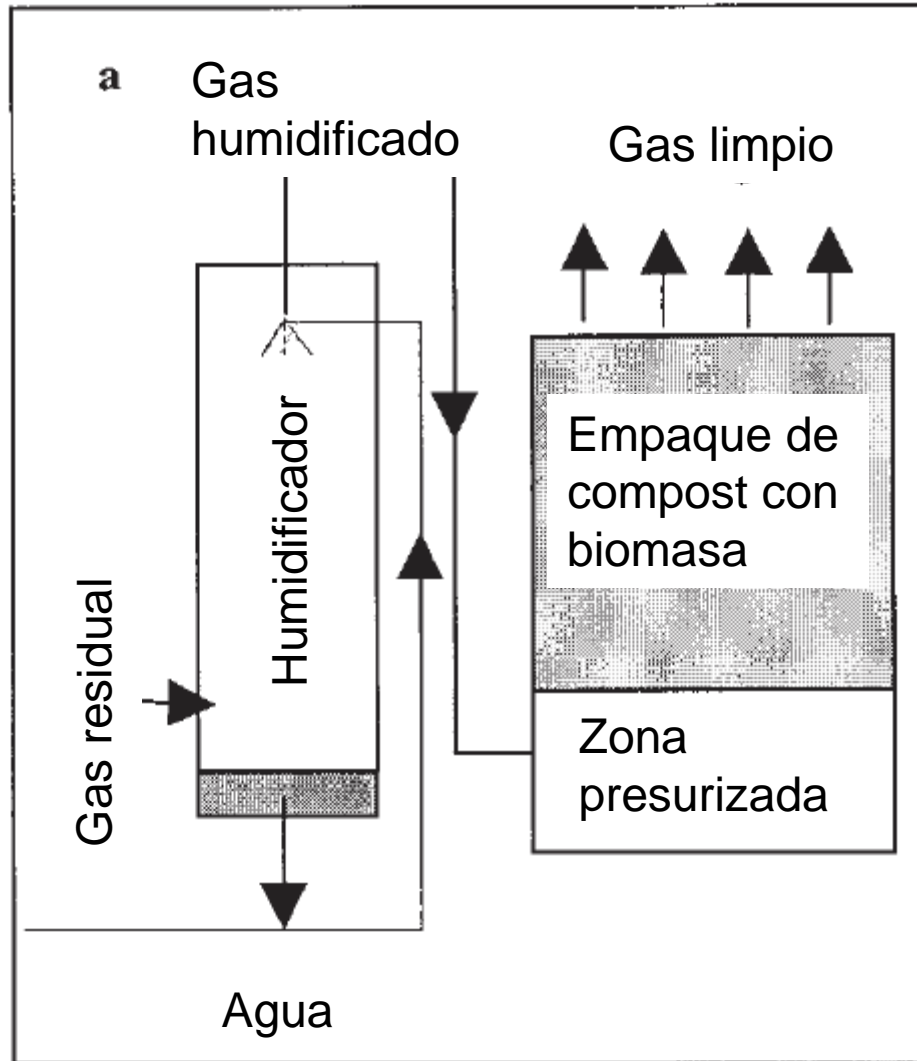
D coeficiente de difusión (m^2/s^{-1})

H altura en metros

U velocidad superficial del gas m^2s^{-1}

m coeficiente de distribución





Biofiltro



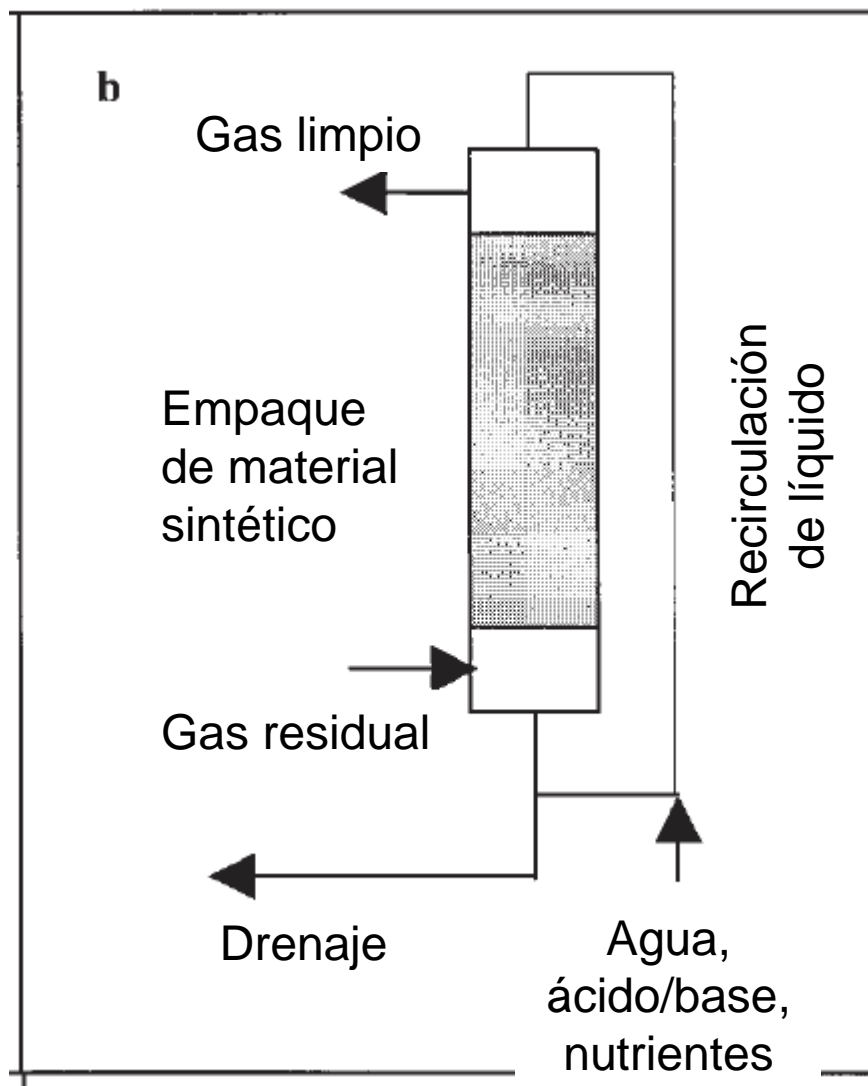
La partícula de compost está rodeada por una capa de agua y bolsas de gas en el biofiltro

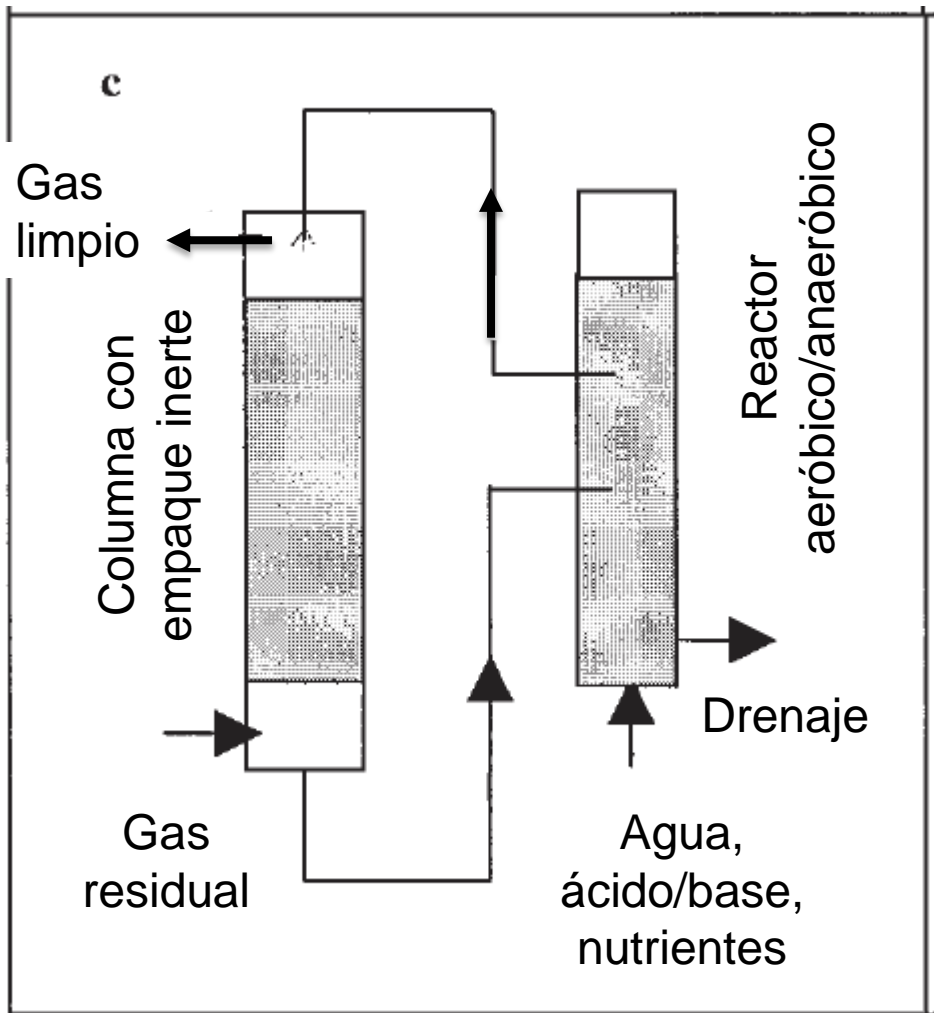


Biofiltro de lecho empacado

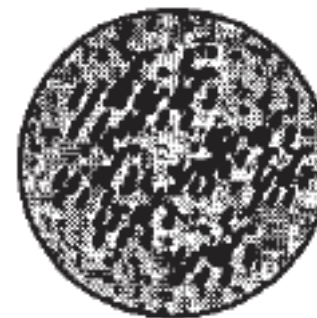


El empaque de material sintético está parcialmente cubierto por agua, biomasa y gas



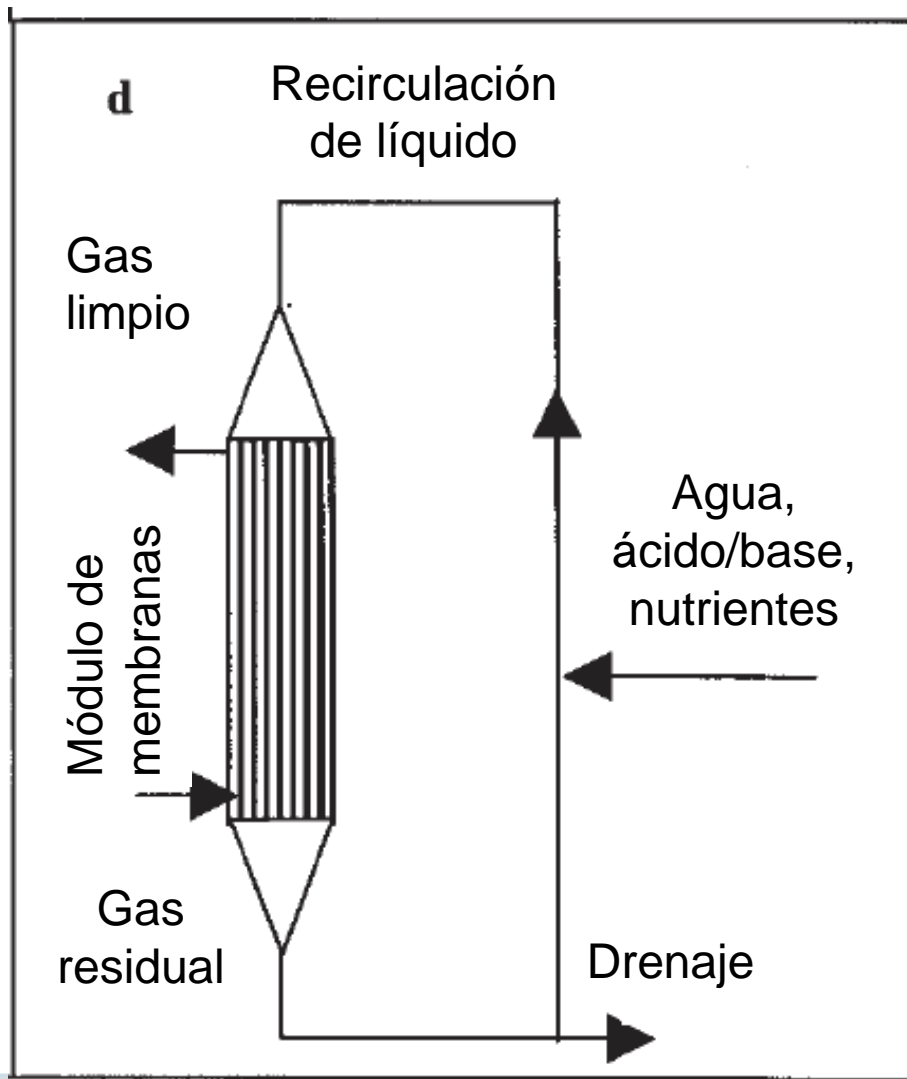


Bio scrubber



Flóculos o gránulos de bacterias en el bioreactor de bioscruber





Bioreactor de membrana



Módulo de membrana con biomasa y fluido nutritivo en el interior del tubo y gas en el exterior

Parámetros a considerar

- Tiempo de contacto real o tiempo de contacto de reactor vacío

$$T = 3600 * \frac{V}{Q} \quad V : \text{volumen del material de filtro, } Q : \text{caudal}$$

$$T = \varepsilon * 3600 * \frac{V}{Q} \quad \varepsilon : \text{porosidad real}$$

- Velocidad de carga superficial

$$B_A = \frac{Q}{A} \quad A \text{ área superficial del lecho}$$

- Tasa de carga de masa

$$B_V = Q * \frac{C_{gin}}{A} \quad C_{gin} \text{ concentración del gas a la entrada}$$



- Tasa de carga volumétrica

$$V_s = \frac{Q}{V}$$

- Capacidad de eliminación

$$CE = Q * \frac{C_{gin} - C_{gsal}}{V}$$

C_{gsal} concentración de gas a la salida

- Eficiencia de remoción

$$ER = \frac{C_{gin} - C_{gsal}}{C_{gin}} * 100$$



Parámetro	Biofiltro	Biofiltro de lecho empacado	Bioscurbber
Concentración de contaminante (g/m ³)	<1	<0,5	<5
Constante de Henry	<10	<1	<0,01
Tasa de carga superficial (m ³ m ⁻³ h ⁻¹)	50-200	100-1000	100-1000
Tasa de carga másica (gm ⁻³ h ⁻¹)	10-160	<500	<500
Tiempo de contacto en lecho vacío (s)	15-60	<500	<500
Tasa de carga volumétrica (m ³ m ⁻³ h ⁻¹)	100-200		250-580
Capacidad de eliminación (gm ⁻³ h ⁻¹)	10-160		
Eficiencia de remoción (%)	95-99		85-90



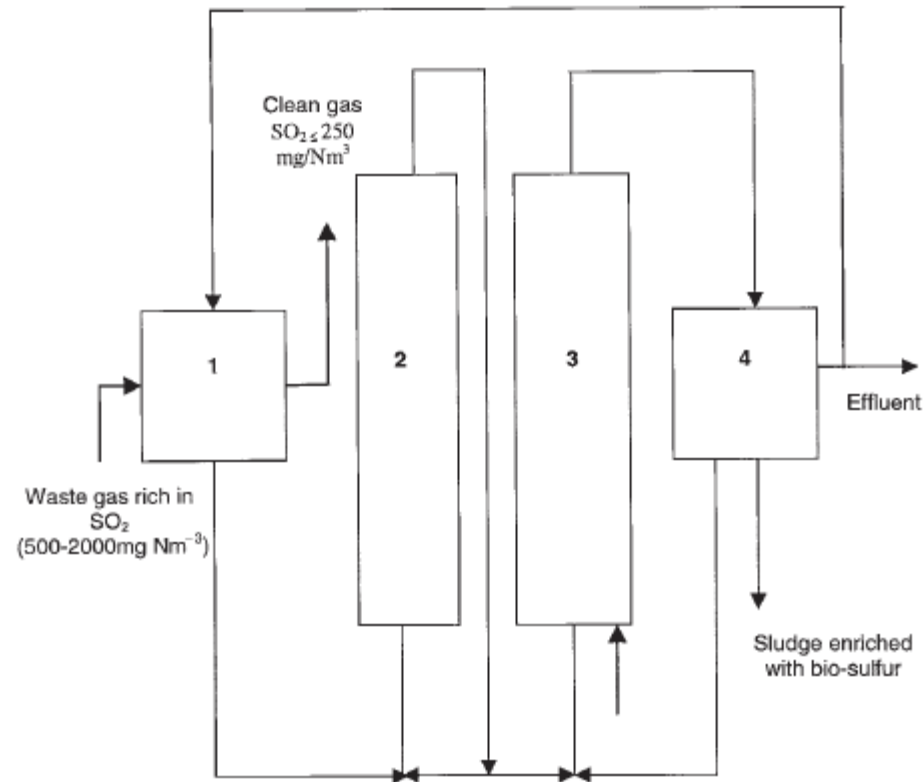


Fig. 17.4 Conversion of SO_2 by means of sulfate reduction and subsequent sulfide oxidation reactors to biologically formed elemental sulfur (after Grootaerd et al., 1977). 1: absorption of SO_2 gas; 2: sulfate reduction; 3: partial oxidation of hydrogen sulfide; 4: separation of sludge enriched with biosulfur.



