

Manual para la gestión de depuradoras



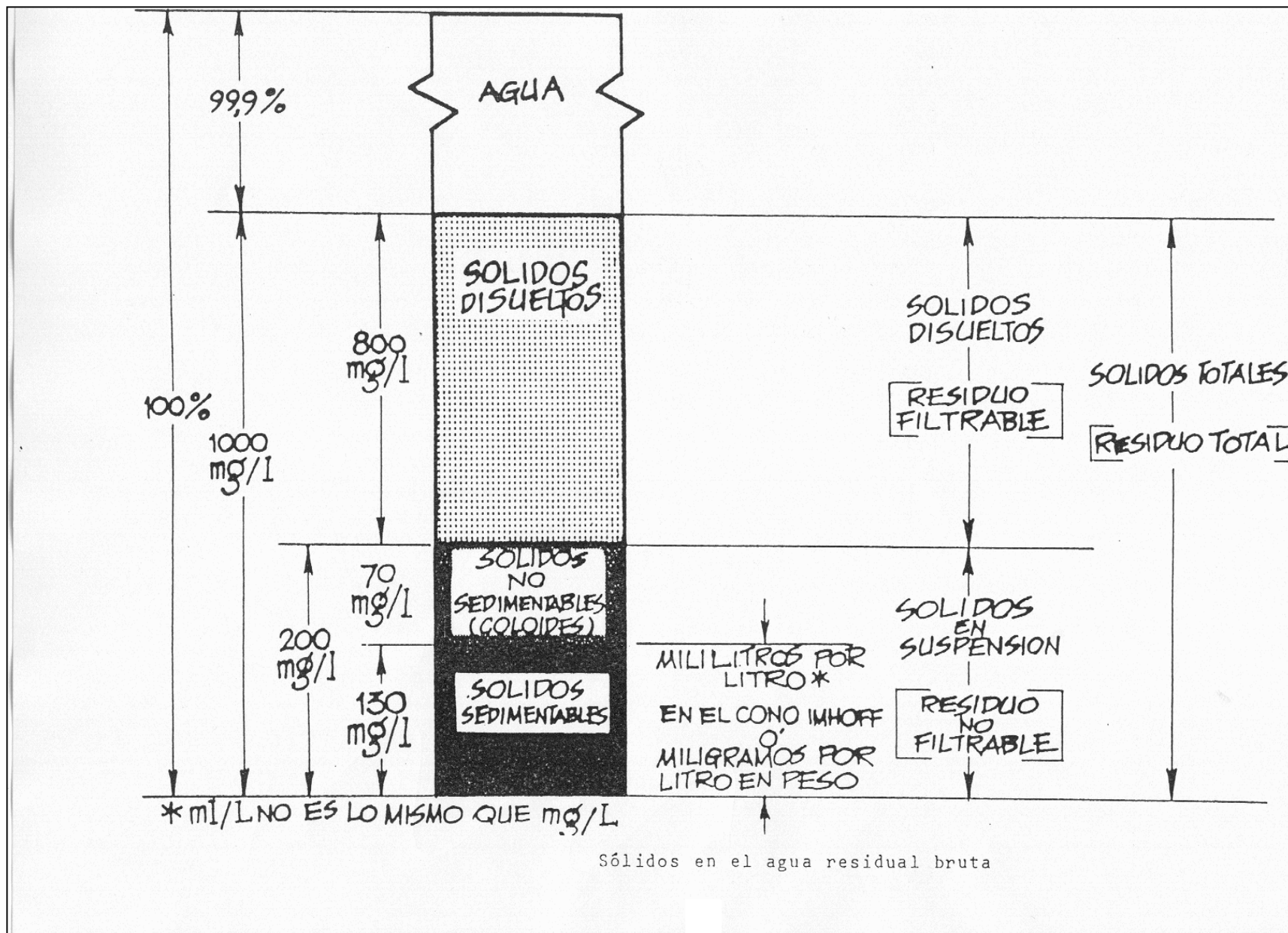
- criterios para el diseño
- criterios para la gestión

límites para el desarrollo de los “buenos” microorganismos

pH	—————→	6-9
alcalinidad	—————→	> 30 mg HCO_3 /L
DBO/Nitrógeno/fósforo	—————→	100/5/1
oxígeno disuelto	—————→	> 1 mg/L
temperatura	—————→	10°C - 30°C
fenoles	—————→	< 50 mg/L
sulfuros	—————→	< 10 mg/L
aceites y grasas	—————→	< 50 mg/L
metales pesados (p.ej. Cr, Cu, V, Hg)	—————→	< 1 mg/L

impacto de las malas condiciones

- pH alto: inhibición de la actividad metabólica
- pH bajo: formación de hongos - decantan mal
- falta de oxígeno: situación anaeróbica – olores
- temperaturas altas: inhibición de la actividad metabólica y mala decantabilidad
- fenoles: inhibición de la actividad metabólica aunque se adaptan hasta 150 mg/L
- sulfuros: inhibición de la actividad metabólica aunque se adaptan y cantidad de O_2
- metales pesados: inhibición de la actividad metabólica (depende de la solubilidad, pH)




sólidos

- sólidos disueltos = sólidos totales – sólidos en suspensión
- sólidos totales = secados a 103°C
- sólidos en suspensión (SS) = retenidos en un filtro de 45 µm y secados a 103°C
- sólidos en suspensión volátiles (VSS) = retenidos en un filtro de 45 µm y secados a 550°C
- sólidos sedimentables (Ssed) (ml/L) = sedimentables en cono Imhoff

microorganismos en el licor mezcla

- bacterias (esferas, bastoncitos y espirales)
- amebas y flagelados (se mueven poco y no afectan a la calidad del licor)
- ciliados (se mueven libremente y consumen bacterias y materia orgánica)
- rotíferos (estrictamente aerobio dan señal de buena calidad del licor)
- hongos (crecen cuando el pH es bajo)
- algas, nemátodos
- población de microorganismos = aprox 1 – 2 billones por litro

son menos frecuentes en
aguas industriales



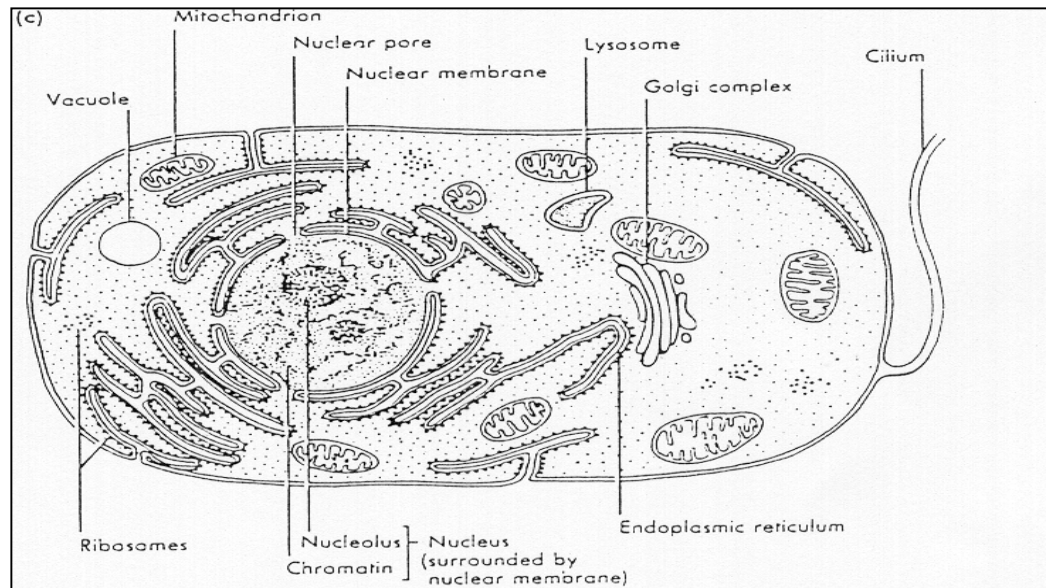
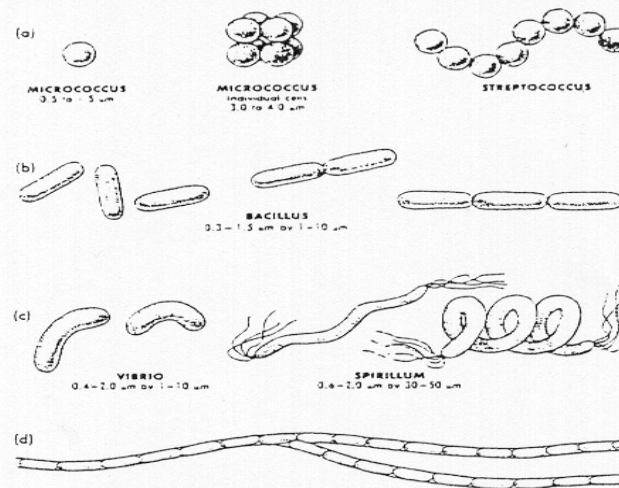
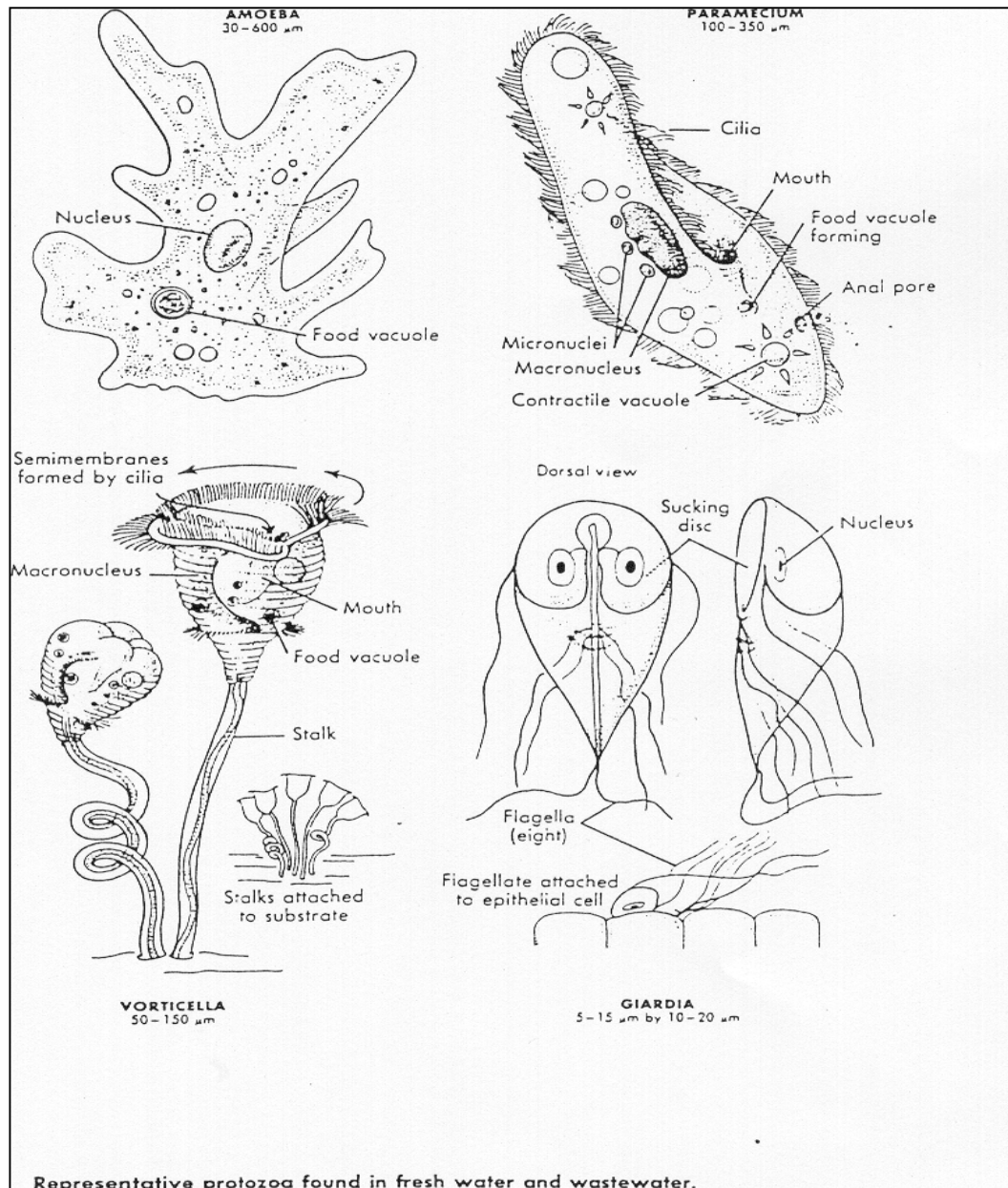
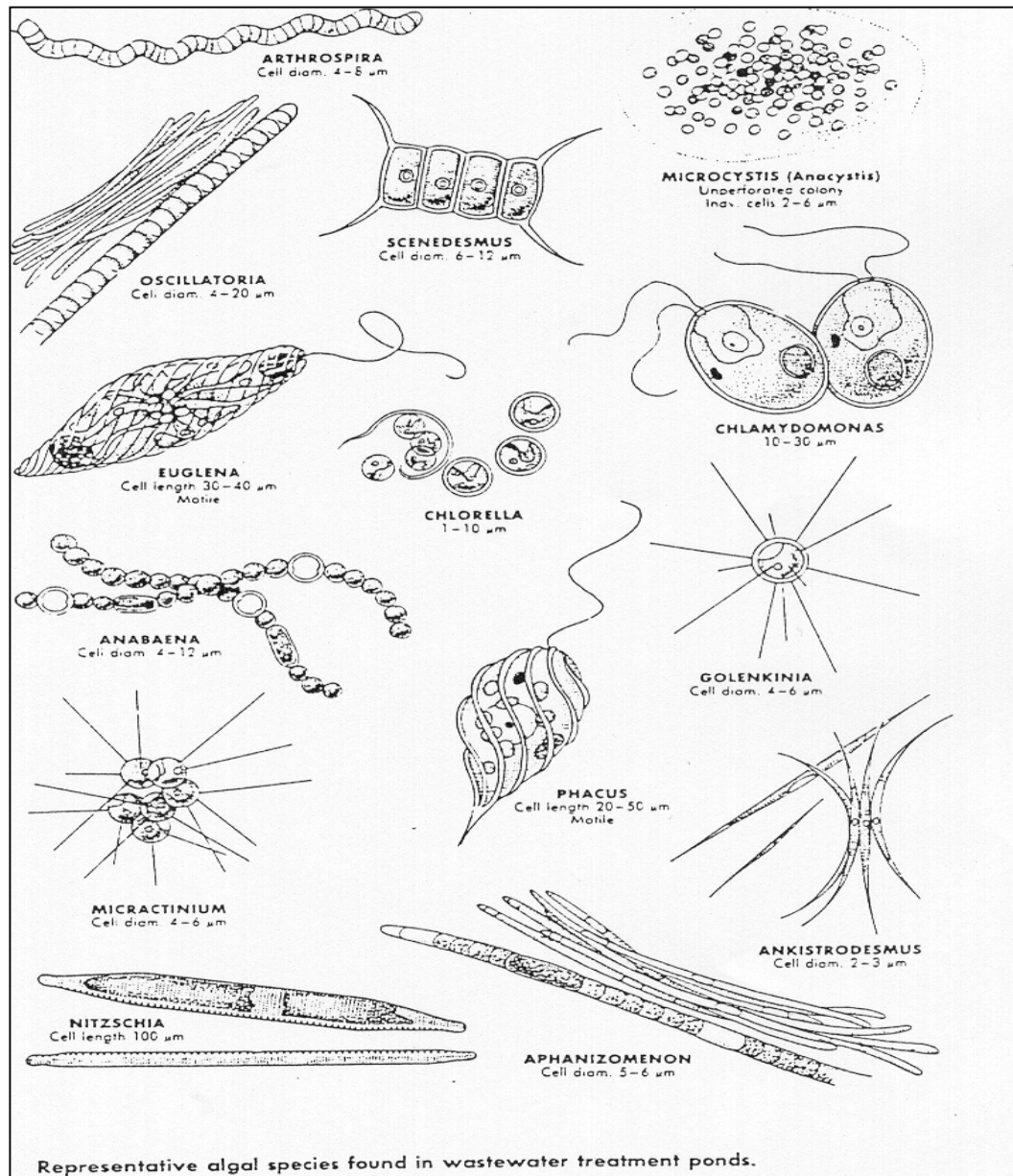


FIGURE 2.23 (Cont.)



Typical shapes of bacteria: (a) spheroid, (b) rod, (c) curved rod or spiral, and (d) filamentous (made up of chains of individual cells).





Valores límite de sustancias inhibidoras de procesos biológicos.

CONTAMINANTE	FANGOS ACTIVADOS	
	(1)	(2)

Amoniaco	480	
Arsénico	0,1	1-2
Borato (Boro)	0,05-100	
Cadmio	10-100	10-15
Calcio	2.500	
Cromo (Hexavalente)	1-10	5-10
Cromo (Trivalente)	50	
Cobre	1,0	2,5-3,0
Cianuro	0,1-5	0,5
Hierro	1.000	90
Plomo	0,1	2,5-5
Manganeso	10	20-40
Magnesio		
Mercurio	0,1-5,0	3-5
Niquel	1,0-2,5	1-2
Plata	5	
Sodio		
Sulfato		
Sulfuro		
Zinc	0,08-10	15

NOTA: Las concentraciones expresadas en mg/l., corresponden al afluente a los procesos unitarios en forma disuelta.

Fuentes: (1) EPA-430/9-76-0/7 a Volume I'

(2) Ensayos de inhibición a escala laboratorio de un proceso de fangos activados por varios contaminantes - Ignacio Martinez y Alejandro de la Sota (Consortio de Aguas del Gran Bilbao).
TECNOLOGIA DEL AGUA 17/1.984

Compuestos	Comportamiento frente a la degradación biológica
Hidrocarburos saturados	Prácticamente no degradables; a veces tóxicos.
Olefinas con 5 a 7 átomos de carbono	Difíciles de degradar.
Hidrocarburos clorados	No degradables.
Alcoholes	Se degradan bien. Excepciones: alcohol butílico terciario, alcohol amílico, pentaeritritol.
Fenoles	En general se degradan bien. En cambio, los clorofenoles son difícilmente degradables, particularmente el 2, 4, 5 - triclorofenol.
Aldehídos	Se degradan bien después de la aclimatación de los microorganismos. Excepciones: benzaldehído a concentraciones elevadas (0,8 a 1,0 g/l).
Ácidos orgánicos y sus sales y ésteres	Se degradan bien. Excepciones: los tioácidos.
Eteres	En general son poco degradables, o tan sólo se degradan después de la activación de los microorganismos.
Cetonas	Ocupan una posición intermedia entre los ácidos, alcoholes y aldehídos, por una parte, y los éteres, por otra.
Aminoácidos	Casi siempre degradables. Excepciones: cistina y tiroxina.
Aminas, amidas	Se degradan bien, monoetanolamina, diamonoetano, acrilamida, di- y trietanolamina, pindina, picolina, acetanilida. Difícilmente degradables: tiocetamida, morfolina y acetilmorfolina.
Compuestos cianurados	En general, se degradan bien en concentraciones de hasta 50 mg HCN después de la aclimatación de los microorganismos.
Compuestos no saturados	Se degradan bien: alcohol alílico, crotonaldehído, butadieno, esturol.
Sulfatos de alcohol	Se degradan fácilmente.
Hidratos de carbono	Los hidratos de carbono con moléculas simples y superiores, como la dextrina y el almidón, se degradan fácilmente.
Biodegradabilidad de algunos compuestos orgánicos	

carga másica (Cm)

Cm = kg DBO₅/día por kg de SS del licor de la balsa de aireación (MLSS)

Cálculo:

Q (m³/d)

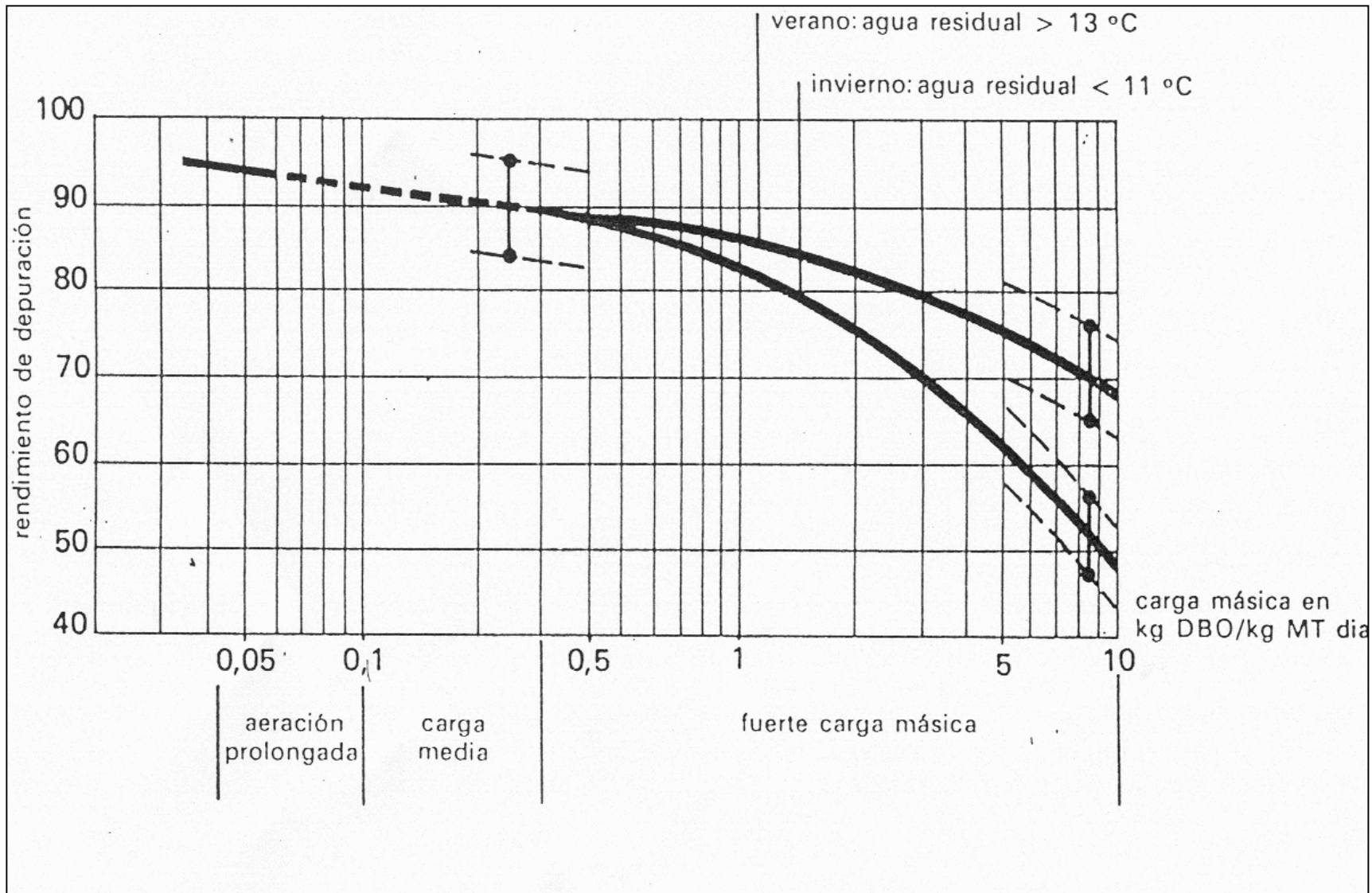
V_{aireación} = volumen de la balsa de aireación (m³)

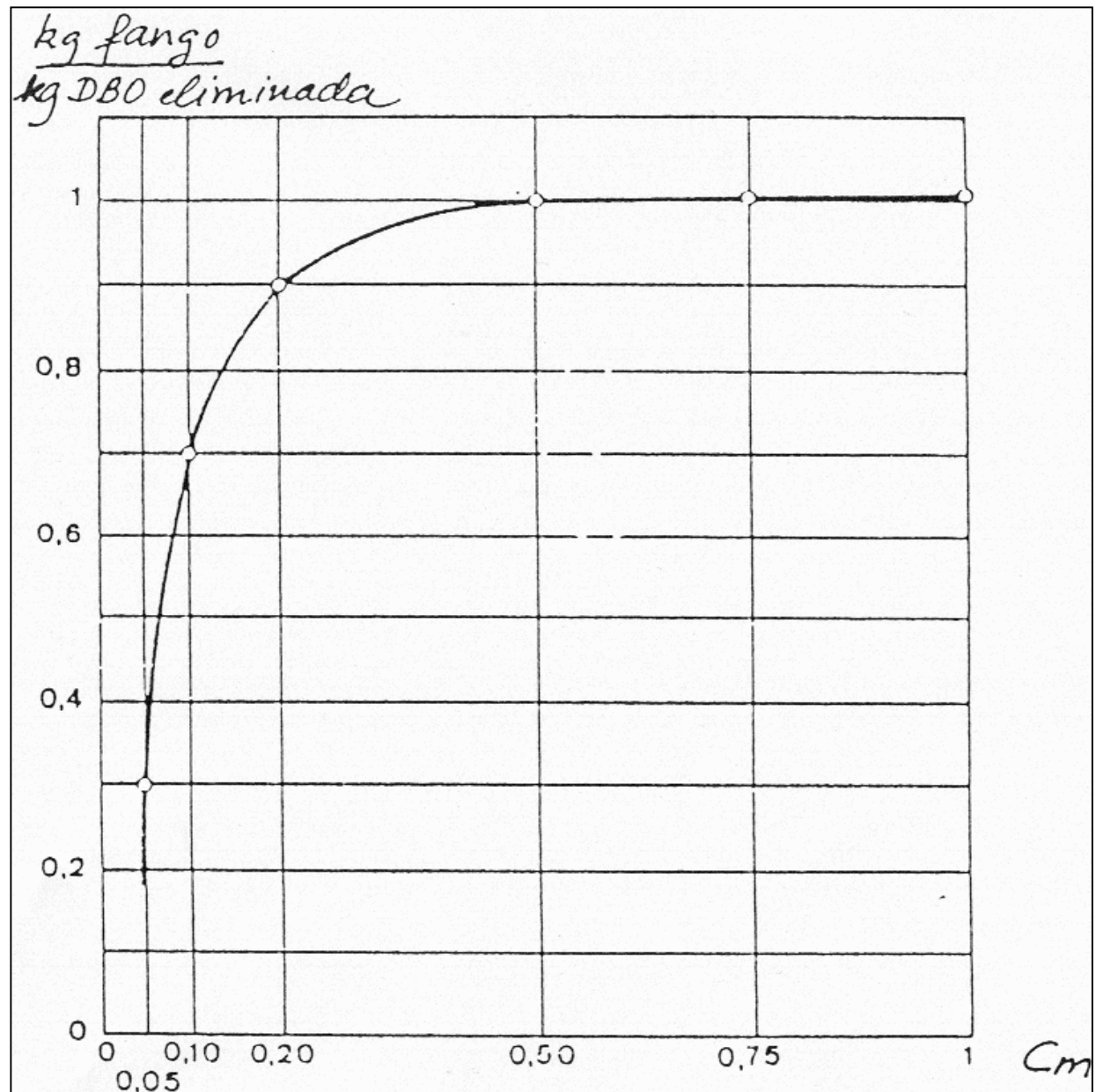
DBO₅ a la entrada de la balsa (mg O₂/L) (aprox. 400 mg/L)

MLSS en la balsa de aireación (mg/L) (aprox. 3.000 mg/L)

$$Cm = \frac{DBO \text{ (mg/L)} \times Q \text{ (m}^3\text{/d)}}{MLSS \text{ (mg/L)} \times V_{\text{aireación}} \text{ (m}^3\text{)}}$$

$$\begin{array}{l} \text{Volumen de la} \\ \text{balsa de} \\ \text{aireación} \\ \text{(m}^3\text{)} \end{array} = \frac{DBO \text{ (mg/L)} \times Q \text{ (m}^3\text{/d)}}{MLSS \text{ (mg/L)} \times Cm}$$





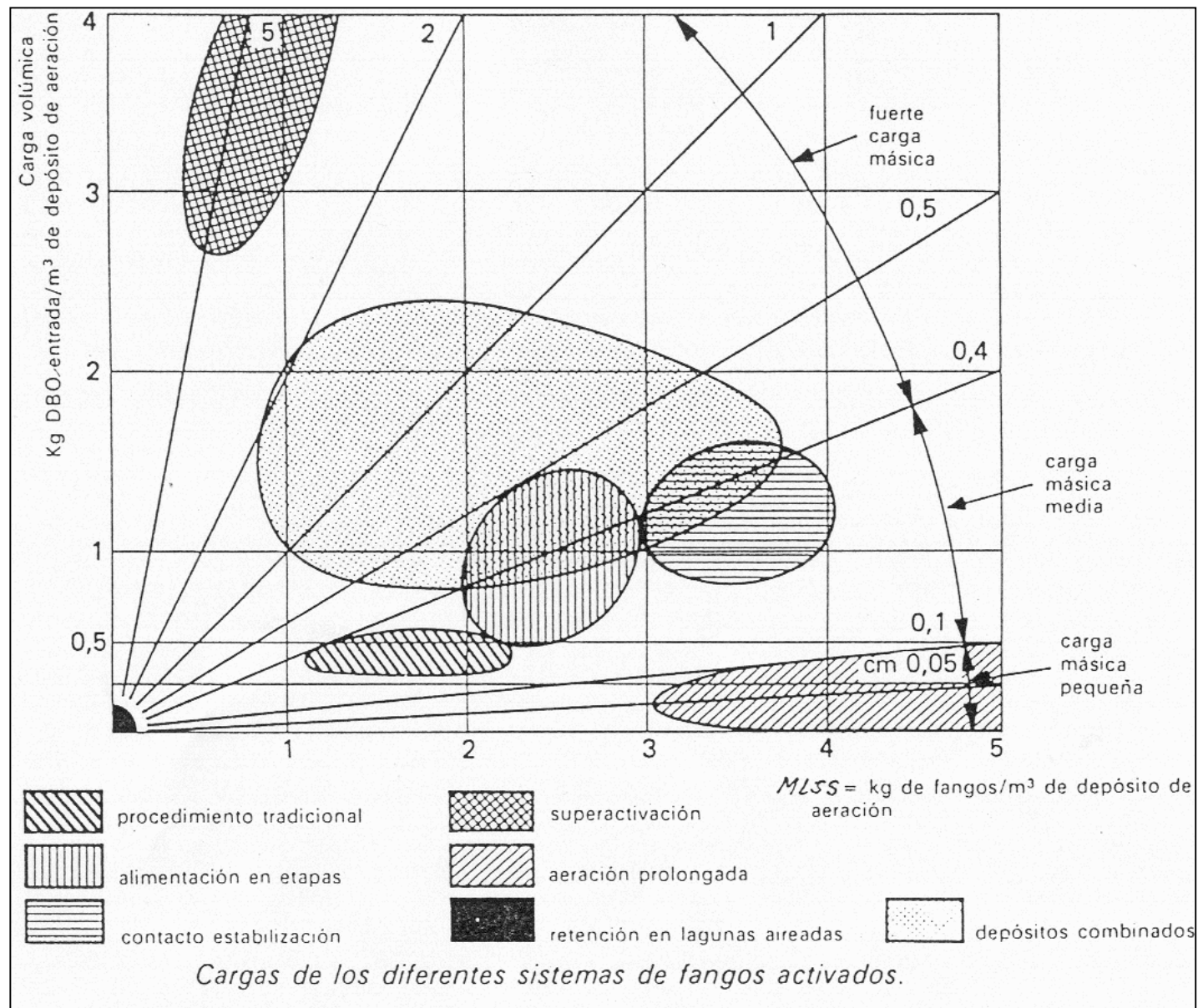
modalidad	Cm (kg DBO/ kg MLSS y día)	Cv (kg DBO/m ³ y día)
alta carga	> 0.5	> 1.5
carga convencional	0.25-0.5	0.5-1.5
aireación prolongada	< 0.2	< 0.5

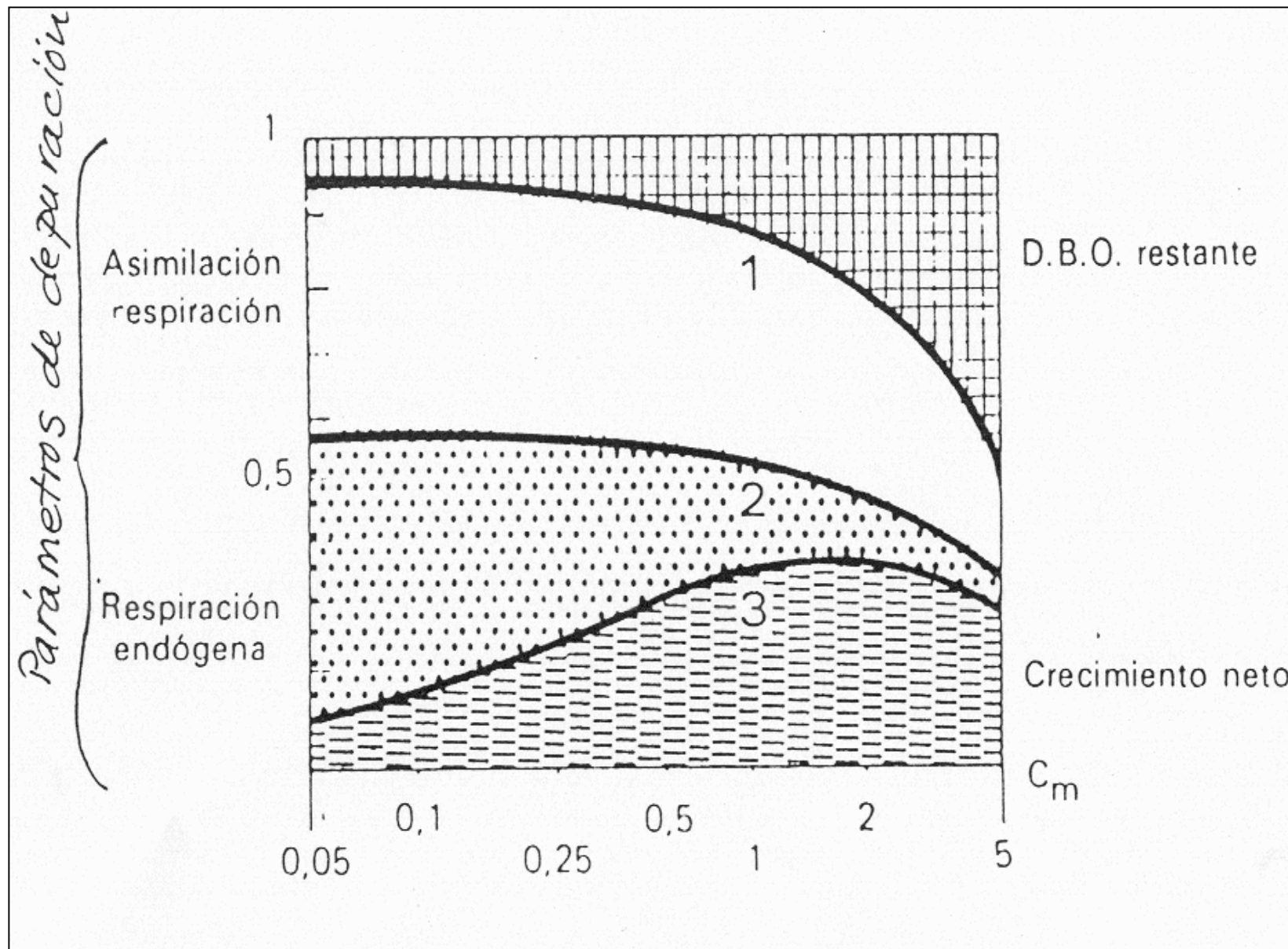
carga volumétrica (Cv)

$$\text{Kg DBO/m}^3 \text{ y día} = \frac{\text{DBO (mg/L)} \times 1/1000 \times Q \text{ (m}^3\text{/día)}}{\text{Vaireación (m}^3\text{)}}$$

tiempo de retención hidráulico (TRH)

$$\text{TRH (días)} = \frac{\text{Vaireación (m}^3\text{)}}{Q \text{ (m}^3\text{/día)}}$$





demanda teórica de oxígeno

1. por proceso de biodegradación de la DBO

0.5 – 1.5 kg O₂/kg DBO

2. por nitrificación $\text{NH}_4 \longrightarrow \text{NO}_3$

4.57 kg O₂/kg NH₄-N

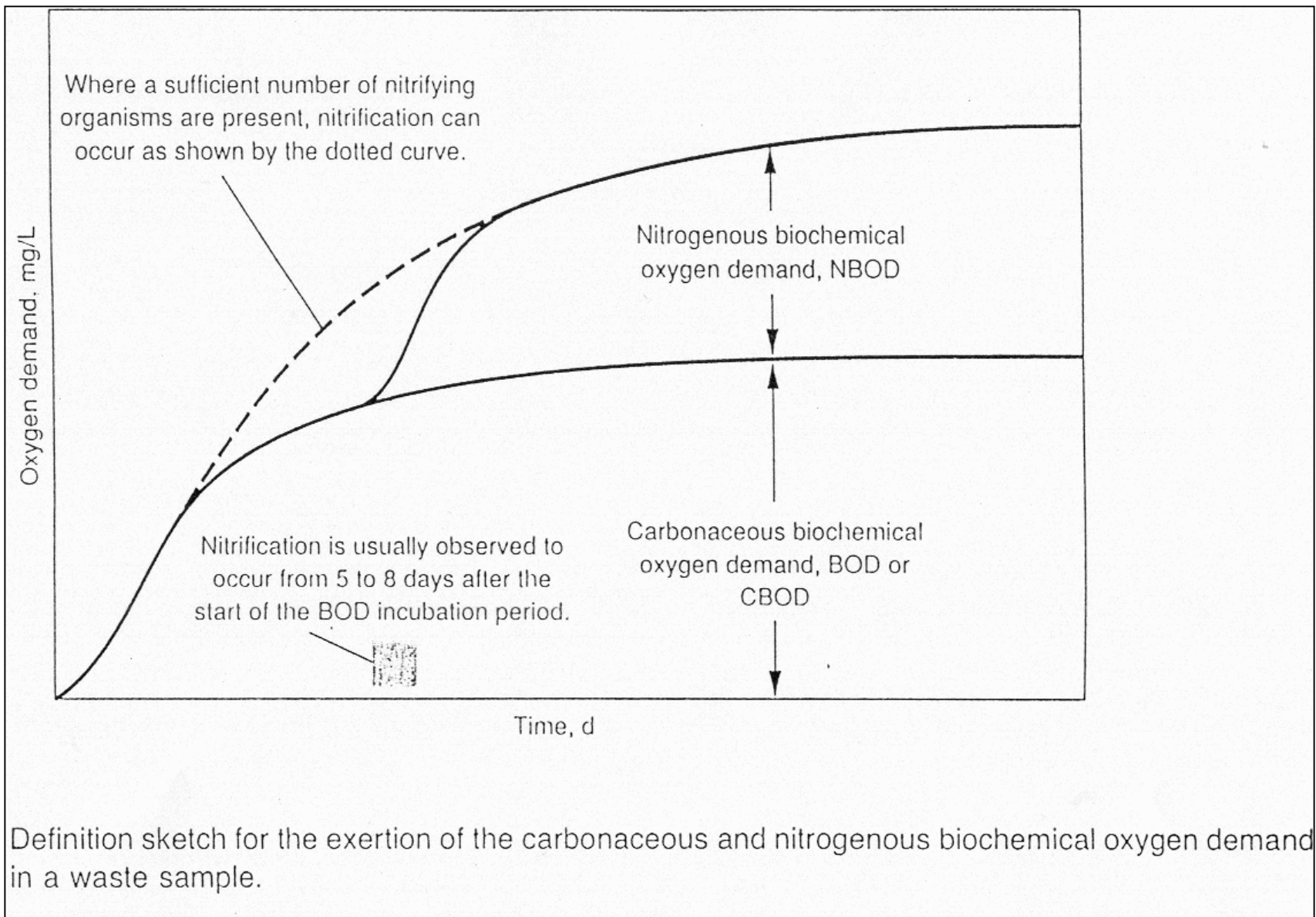
3. por desnitrificación $\text{NO}_3 \longrightarrow \text{N}_2$

-2.86 kg O₂/NO₃-N

4. por respiración endogénica (consumo de la “grasa”)

0.06 – 0.1 kg O₂/kg MLSS y día

demanda teórica de oxígeno kg O₂/día = 1 + 2 + 3 + 4



demanda de oxígeno criterios prácticos

- $\text{kg O}_2/\text{día} = \text{DBO (mg/L)} \times 1/1000 \times Q \text{ m}^3/\text{d} \times \text{kg O}_2/\text{kg DBO}$
- $\text{kg O}_2/\text{kg DBO} = \text{depende de TRH y de la Cm}$
(0.7 – 1.2 $\text{kg O}_2/\text{kg DBO}$)

capacidad de aireación

- $\text{kg O}_2/\text{día} = \text{Potencia de aireación (Kw)} \times \text{kg O}_2/\text{kWh}$
 $\times 24 \text{ h/día}$
- $\text{kg O}_2/\text{kWh} = \text{depende del equipo de aireación y de la}$
 $\text{temperatura del agua}$

aireación superficial = 1 – 2.5 $\text{kg O}_2/\text{kWh}$

burbuja fina = 8 – 10 $\text{g/m}^3 \times \text{m de prof} \rightarrow 1.3 – 1.8 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$

burbuja gruesa = 4 – 4.1 $\text{g/m}^3 \times \text{m de prof} \rightarrow 0.7 – 0.9 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$

velocidad de consumo de oxígeno

$$\text{velocidad de consumo de oxígeno} = \frac{\text{OD inicial} - \text{OD final}}{\text{tiempo}} \times 60 \text{ min/h}$$

consumo de oxígeno por unidad de MLVSS

$$\text{g O}_2/\text{kg MLVSS y hora} = \frac{\text{Velocidad de consumo de oxígeno (g O}_2/\text{m}^3 \text{ y hora)}}{\text{MLVSS (mg/L)}}$$

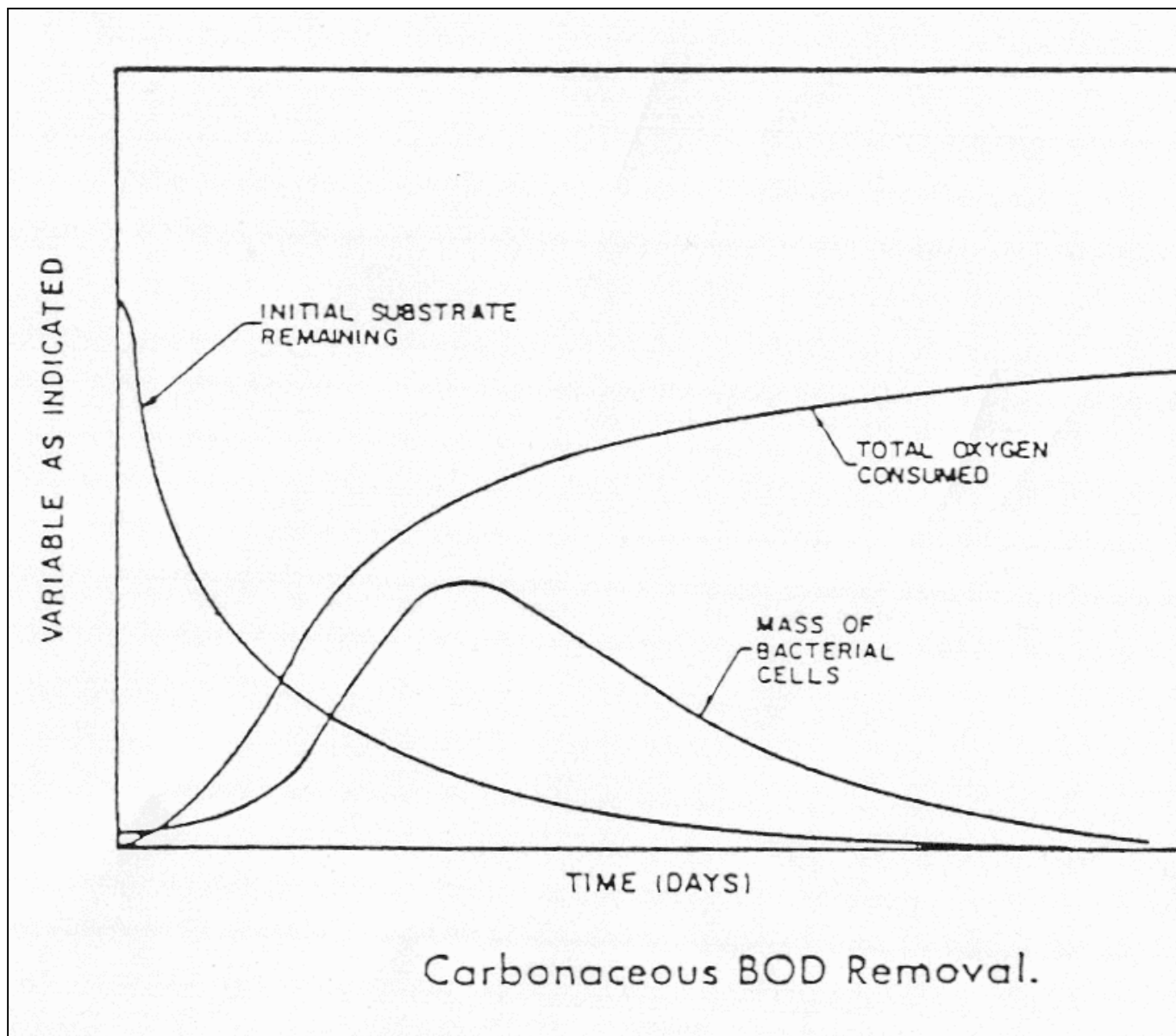
producción de fangos en exceso (pf)

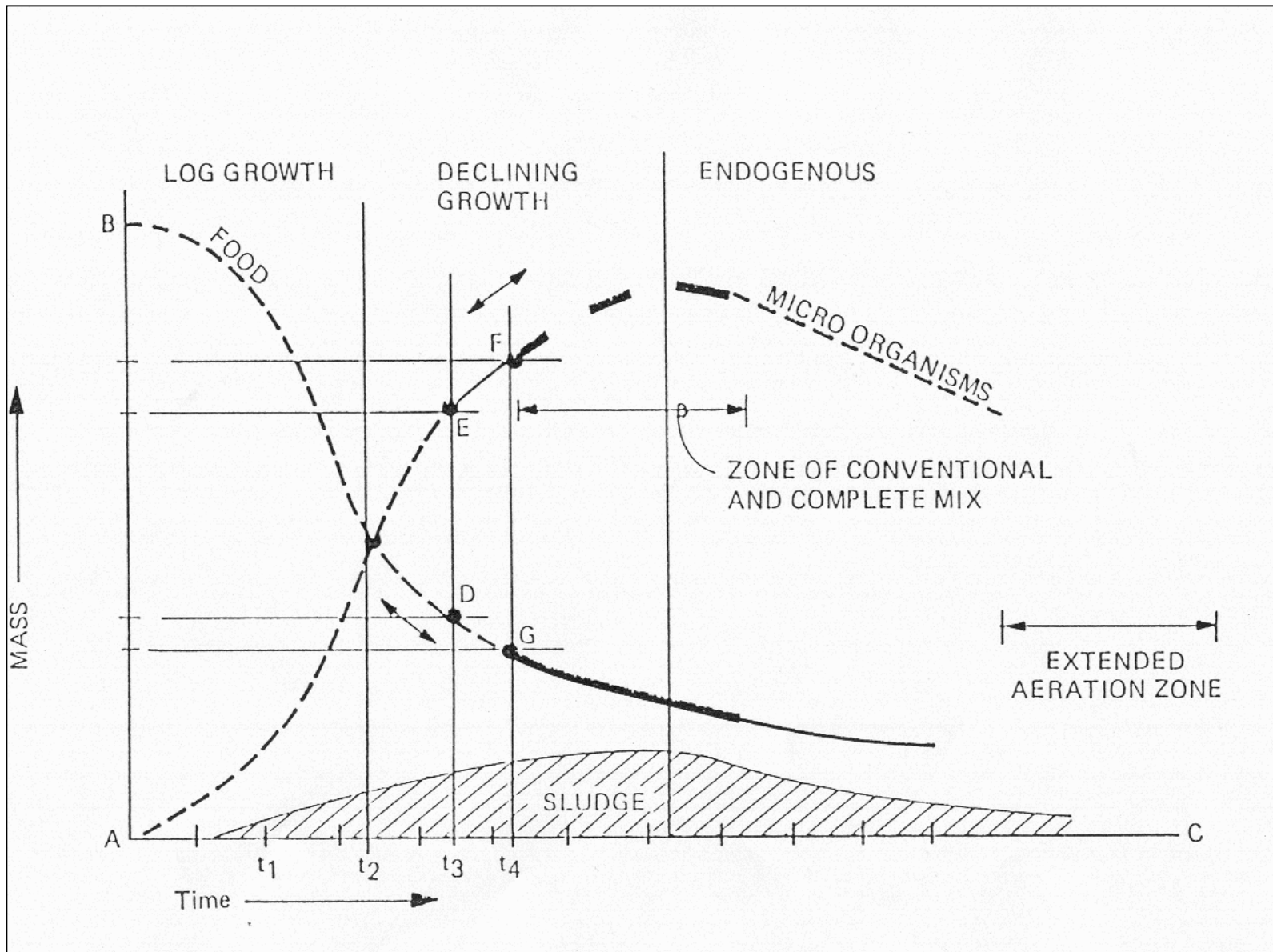
$$pf \text{ (kg/d)} = [a \times \text{kg DBO eliminada/d}] - [b \times \text{kg MVLSS}] - [\text{kg SSsal/d}]$$

cálculo:

- Q (m^3/d)
- V = volumen de la balsa de aireación (m^3)
- DBOent y DBOsal ($\text{mg O}_2/\text{L}$)
- $\text{MLSSV} = 0.9 \times \text{MLSS}$ (mg/L) (en cuba de aireación)
- $\text{SSsal} = \text{SS}$ a la salida del clarificador (mg/L)
- $a = 0.5$ ($0.49 - 0.64$)
- $b = 0.07$ ($0.05 - 0.085$)

$$pf \text{ (kg/d)} = a \times [(\text{DBOent} - \text{DBOsal})/1000] \times Q - b \times (\text{MLVSS} / 1000) \times V - [\text{SSsal}/1000] \times Q$$





edad del fango (EF)

EF = días que los fangos permanecen en la balsa de aireación

cálculo: volumen de la balsa de aireación (m³)
 SS en la balsa de aireación (MLSS) (mg/L)
 producción de fangos en exceso (kg/d)

$$EF = \frac{\text{MLSS (mg/L)} \times \text{volumen de la balsa de aireación (m}^3\text{)}}{1000 \times \text{producción de fangos en exceso (kg/d)}}$$

criterios prácticos > 10 días

concentración del fango recirculado (fórmula empírica)

$$SSr \text{ (g/L)} = \frac{1200}{SVI}$$

caudal de recirculación (m³/d)

$$[Q + Q_r] \times MLSS = Q_r \times SSr$$

$$Q_r = \frac{Q \times MLSS}{SSr - MLSS}$$

$$\% Q_r = \frac{Q_r \text{ (m}^3\text{/d)}}{Q \text{ (m}^3\text{/d)}} \times 100 \quad (20\% - 150\%)$$

$$\begin{array}{l} \text{carga hidráulica} \\ \text{sobre el vertedero} \\ (\text{m}^3/\text{m y hora}) \end{array} = \frac{Q (\text{m}^3/\text{h})}{\text{longitud del vertedero del clarificador (m)}}$$

(rango 2.5 – 10 m³/m y hora)

$$\begin{array}{l} \text{carga de sólidos} \\ \text{en el clarificador} \\ (\text{kg}/\text{m}^2 \text{ y hora}) \end{array} = \frac{Q (\text{m}^3/\text{h}) + Q_r (\text{m}^3/\text{h}) \times \text{MLSS} \times 11.000}{\text{área del clarificador (m}^2\text{)}}$$

(rango 75 – 100 kg/m² y día)

$$\text{carga superficial (m}^3/\text{m}^2 \text{ y hora)} = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{hora)}}{\text{superficie del clarificador (m}^2\text{)}}$$

(0.5 – 2 m³/m² y hora)

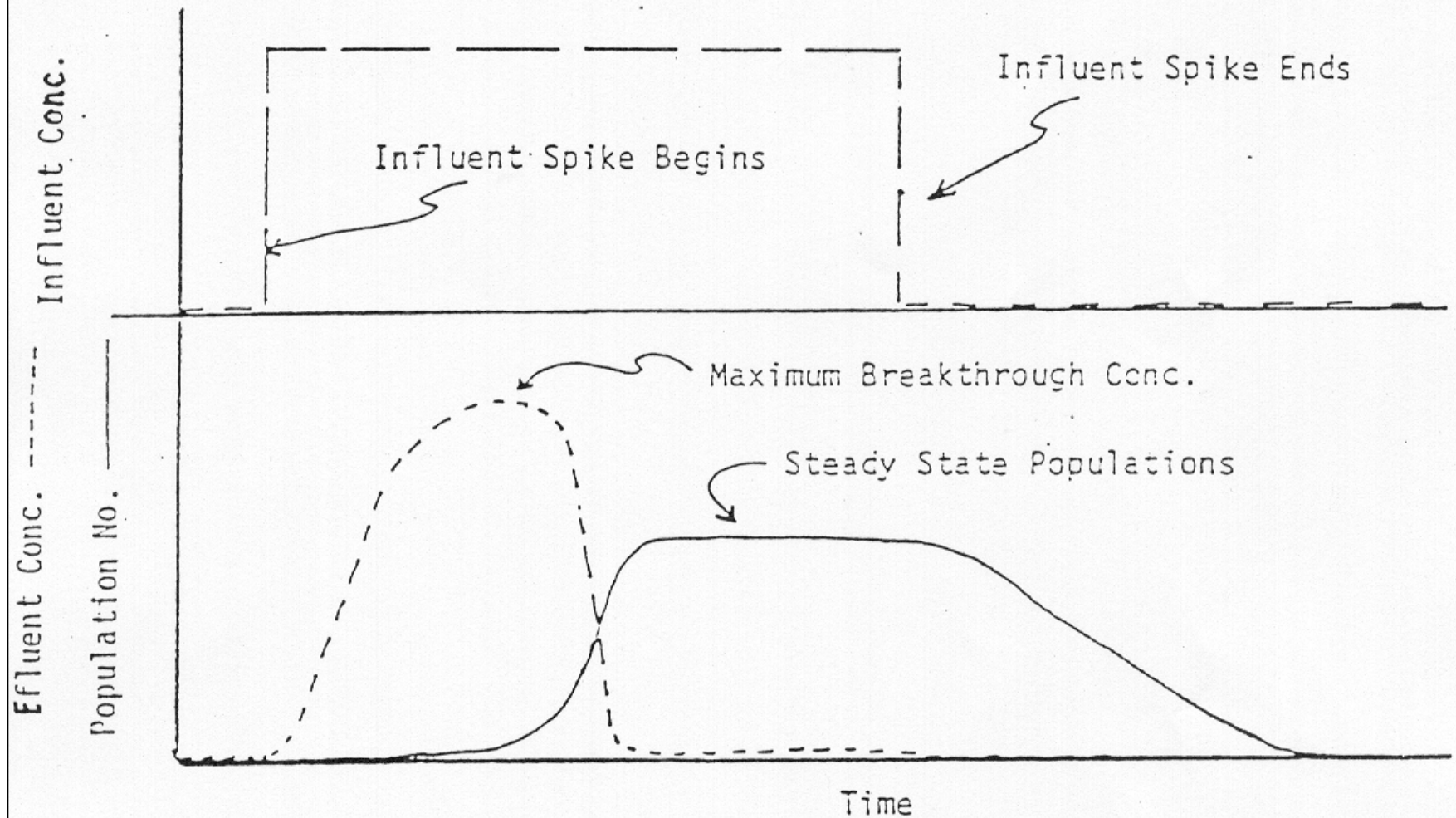
$$\text{tiempo de retención (horas)} = \frac{\text{volumen del clarificador (m}^3\text{)}}{Q \text{ (m}^3/\text{hora)}}$$

(rango 1 – 2 horas)

problemas por alteraciones en la instalación (inestabilidades)

- variaciones de caudal y de concentración de la carga orgánica
- cambios de ciertos elementos de la planta (p. ej. recirculación, purgas, etc)
- cambios significativos de temperatura
- cambios en el programa de muestreo

IDEALIZED DYNAMIC RESPONSE OF A BIOLOGICAL POPULATION
IN A COMPLETELY MIXED AERATION BASIN



presencia de sustancias tóxicas

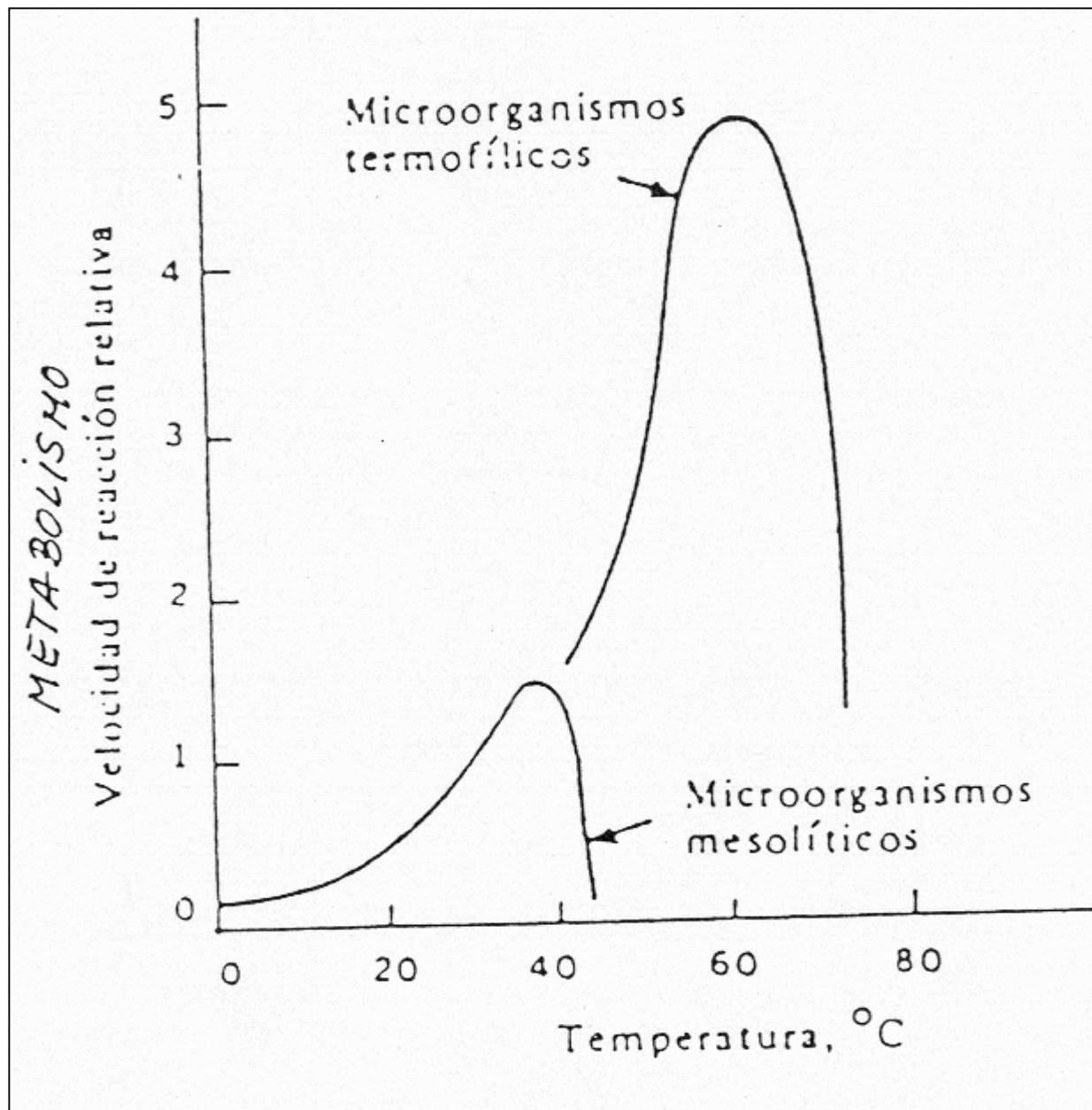
- inhibición o muerte de fangos

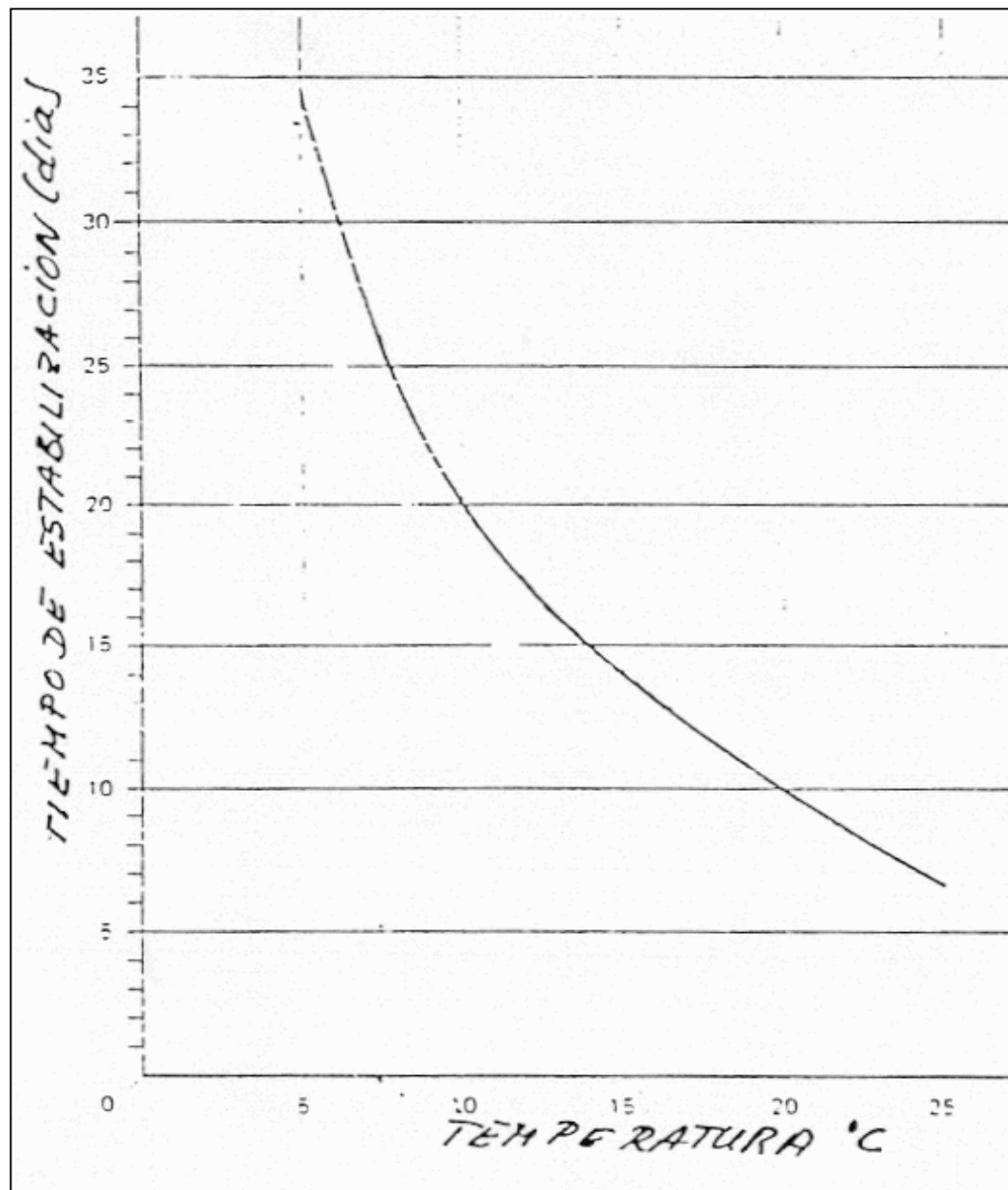
medidas de control

- desvío de agua bruta a balsa de emergencia con posterior tratamiento paulatino
- parar purga de fangos para maximizar la cantidad de fangos disponible
- control en origen de los vertidos tóxicos

impacto de un aumento de la temperatura en el sistema de aireación

- el rendimiento aumenta hasta los 30°C y disminuye a partir de los 35°C
- la población de bacterias se duplica en 20 minutos a 20°C
- aumenta la respiración endogénica (se comen su propia “grasa”)
- se genera menos fango que en condiciones de carga convencional
- la calidad del fango mejora hasta los 30°C y se deteriora a partir de los 35°C
- aumenta la velocidad de nitrificación ($\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$)
- disminuye la capacidad de suministro de oxígeno





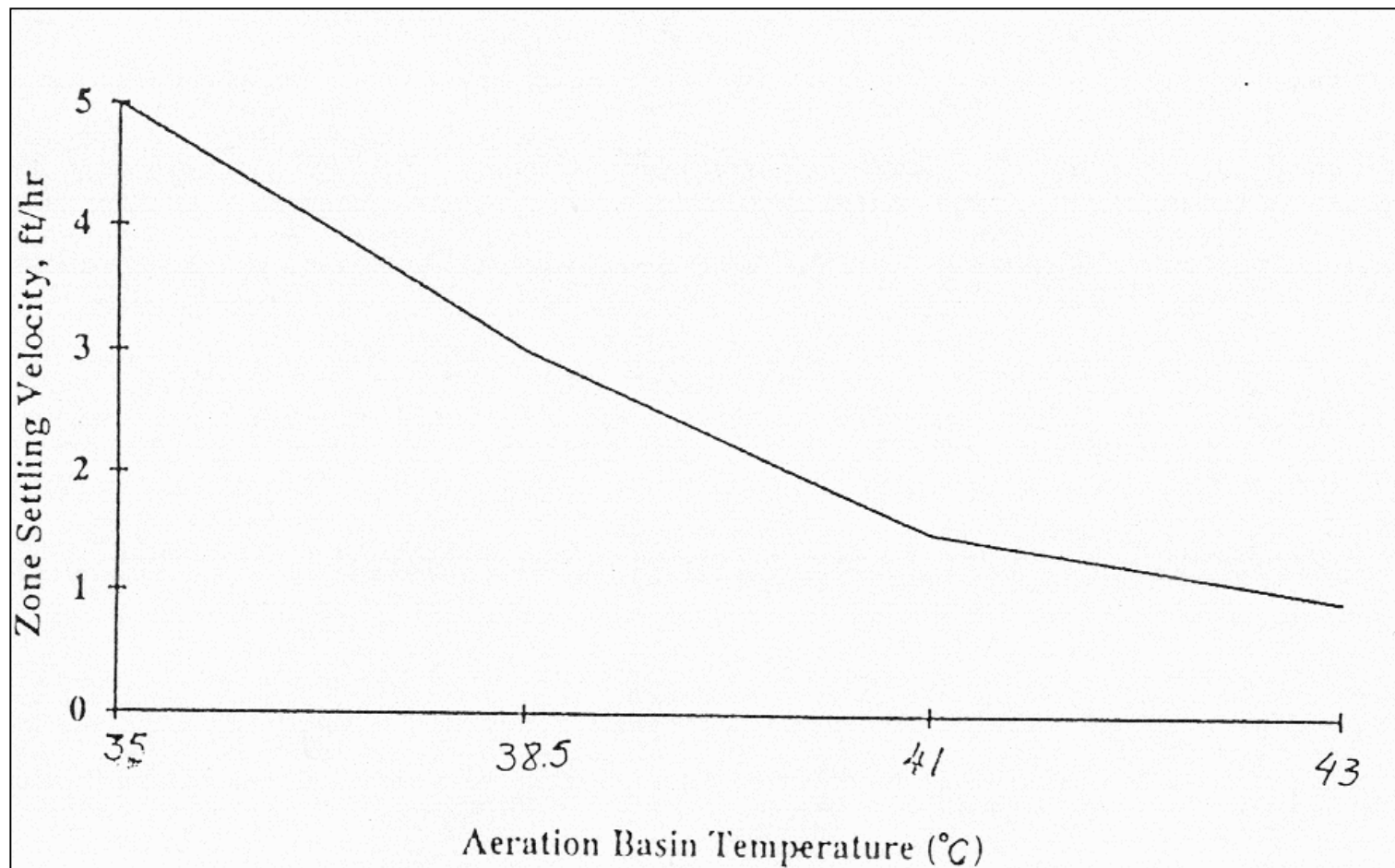


Fig. 2. Effect of mixed liquor temperature on the zone settling velocity of activated sludge for a chemical plant wastewater
(1 ft = 0.3048 m).

fangos esponjosos o fangos ligeros

causado por la formación de

- fangos gelatinosos (células contienen mucho agua)
- fangos filamentosos (formación de microorganismos con estructura filamentosa que crecen de un flóculo a otro)

criterios

- fangos buenos $SVI < 100 \text{ ml/g}$
- fangos malos $SVI > 200 \text{ ml/g}$ (hasta 500 – 1000 ml/g)

causas probables de fangos esponjosos o ligeros

1.composición de las aguas residuales

- deficiencia de nutrientes N y P
- presencia de sustancias tóxicas o inhibitorias
- carencias de diversas sustancias

2. falta de capacidad de aireación (oxígeno disuelto demasiado bajo)

3. carga másica (ciertos rangos de C_m tienen más probabilidad de generar fangos ligeros)

4. geometría de la balsa de aireación

métodos de control de fangos esponjosos o ligeros

- dosificar reactivos con nitrógeno y fósforo
- aumento de la concentración de oxígeno disuelto en el reactor
- aumentar la carga másica por reducción de la MLSS a través de la purga de fangos
- empezar desde cero con fango nuevo
- dosificar hipoclorito o agua oxigenada (destrucción selectiva de bacterias filamentosas)
- intentar mejorar la instalación para mejorar la calidad del fango (p. ej. selector)

formación de espumas

causas

- varias p. ej. Detergentes

medidas correctoras

- maximizar la concentración de MLSS
- reducir la aireación durante los periodos de bajo caudal
- recircular sobrenadantes del clarificador a la balsa de aireación en periodos de bajo caudal (con cuidado y si los hay)
- instalar aspersores en las paredes de la balsa de aireación

formación de fangos anaeróbicos en el decantador

síntomas

- fangos ascienden lentamente, a veces en montones
- perturbación del funcionamiento del reactor biológico
- malos olores

causas

- sedimentación de fangos por mezcla insuficiente en la balsa
- condiciones anaeróbicas en el fondo por oxidación inadecuada
- recirculación de fangos demasiado lenta
- tuberías de extracción de fangos obstruida
- bomba de recirculación parada o válvula cerrada

problemas de gasificación

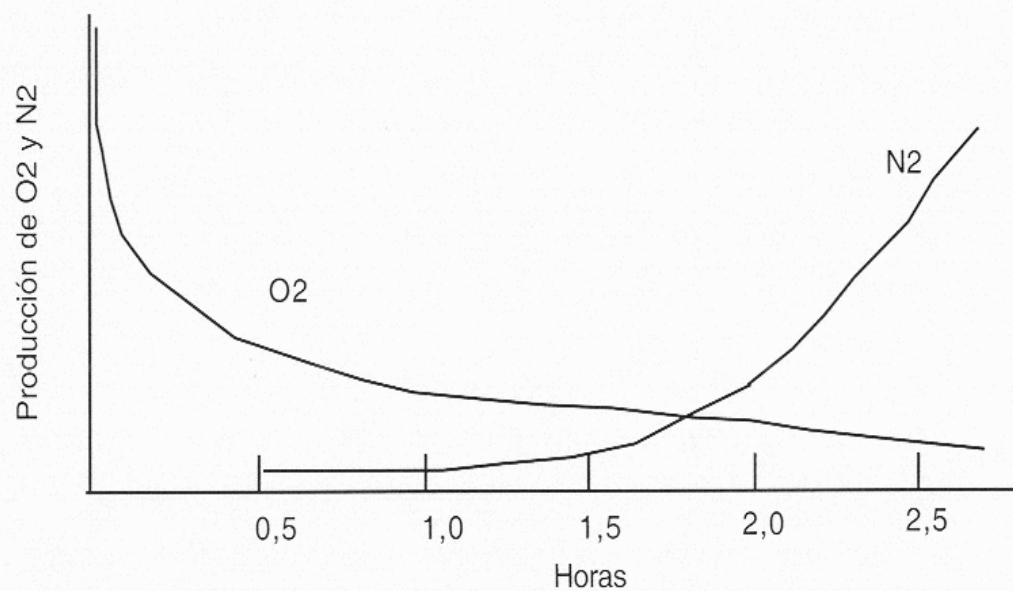
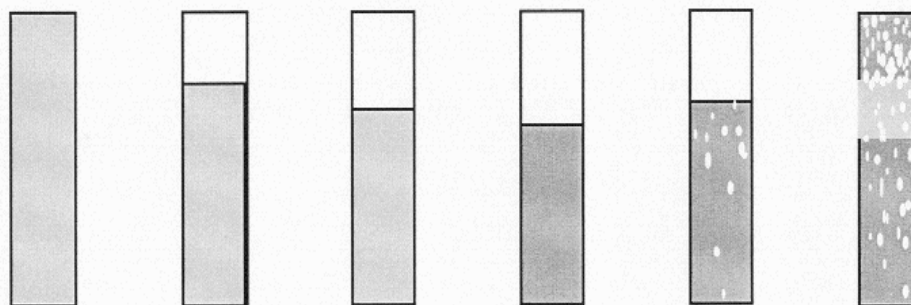
causas

- formación de gas nitrógeno por desnitrificación
- tiempo de retención excesivo en el clarificador

medidas correctoras

- determinar el grado de desnitrificación con ensayos de sedimentación
- reducir MLSS para disminuir la edad del fango y frenar la nitrificación
- aumentar la velocidad de nitrificación

Comportamiento del lodo en la bureta de 1 litro

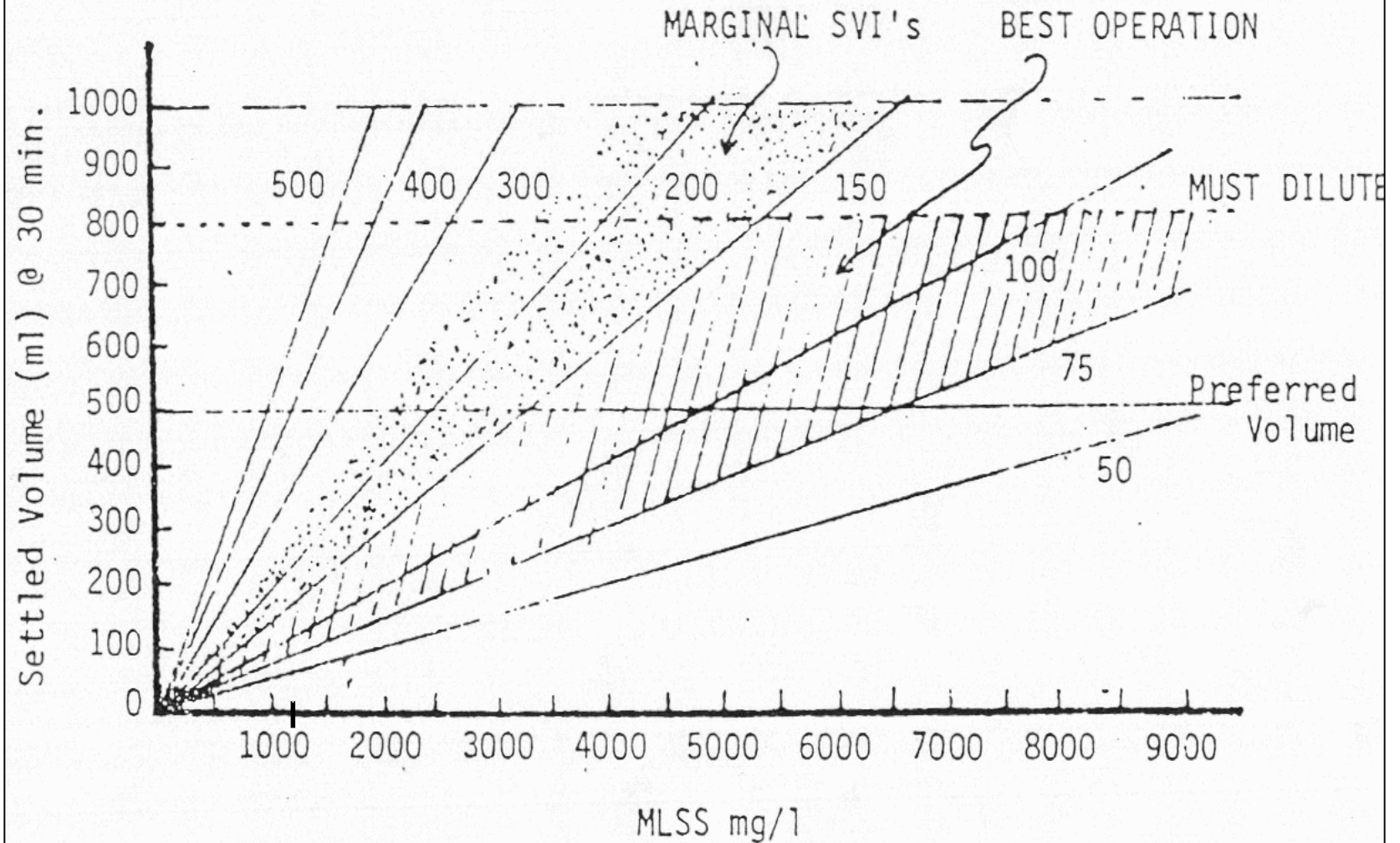


sedimentabilidad del fango

- volumen de fangos sedimentados en una probeta de 2 L en 30 min (ml/L)
- **MLSS** (mixed liquor suspended solids)
- concentración de sólidos en suspensión en el “licor de mezcla” (mg/L)
- **SVI: Sludge volumetric index** (índice volumétrico del fango)

$$\text{SVI (ml/g)} = \frac{\text{volumen de fango sedimentado en 30 min. (ml/L)}}{\text{concentración de sólidos en la balsa de aireación (MLSS) (g/L)}}$$

INTERPRETATION OF SETTLEABILITY TEST



examen microscópico

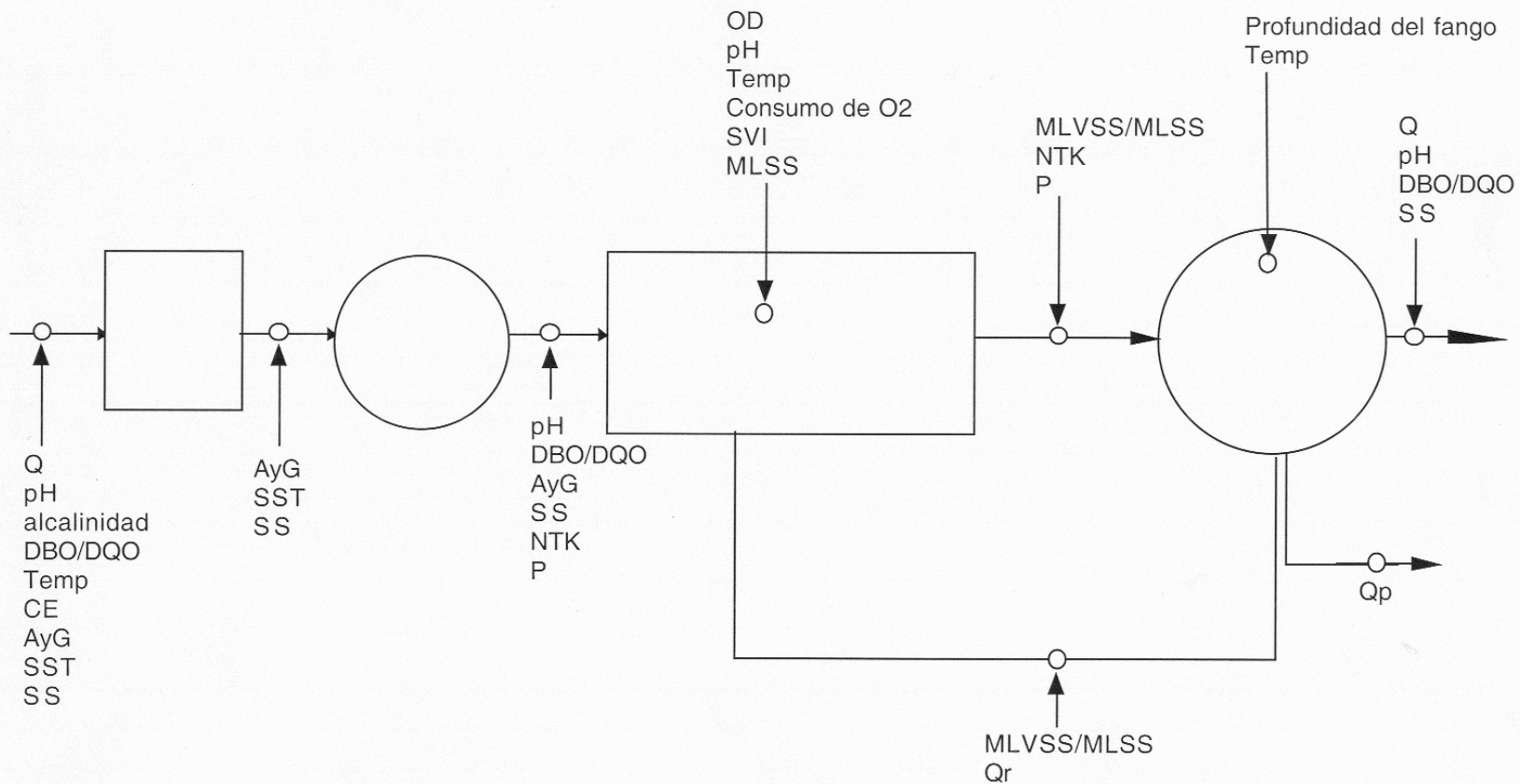
- flóculos fragmentados
- flóculos con filamentos
- flóculos dispersos
- ciliados libres
- ciliados agrupados
- presencia de rotíferos
- presencia de algas u hongos
- presencia de nemátodos

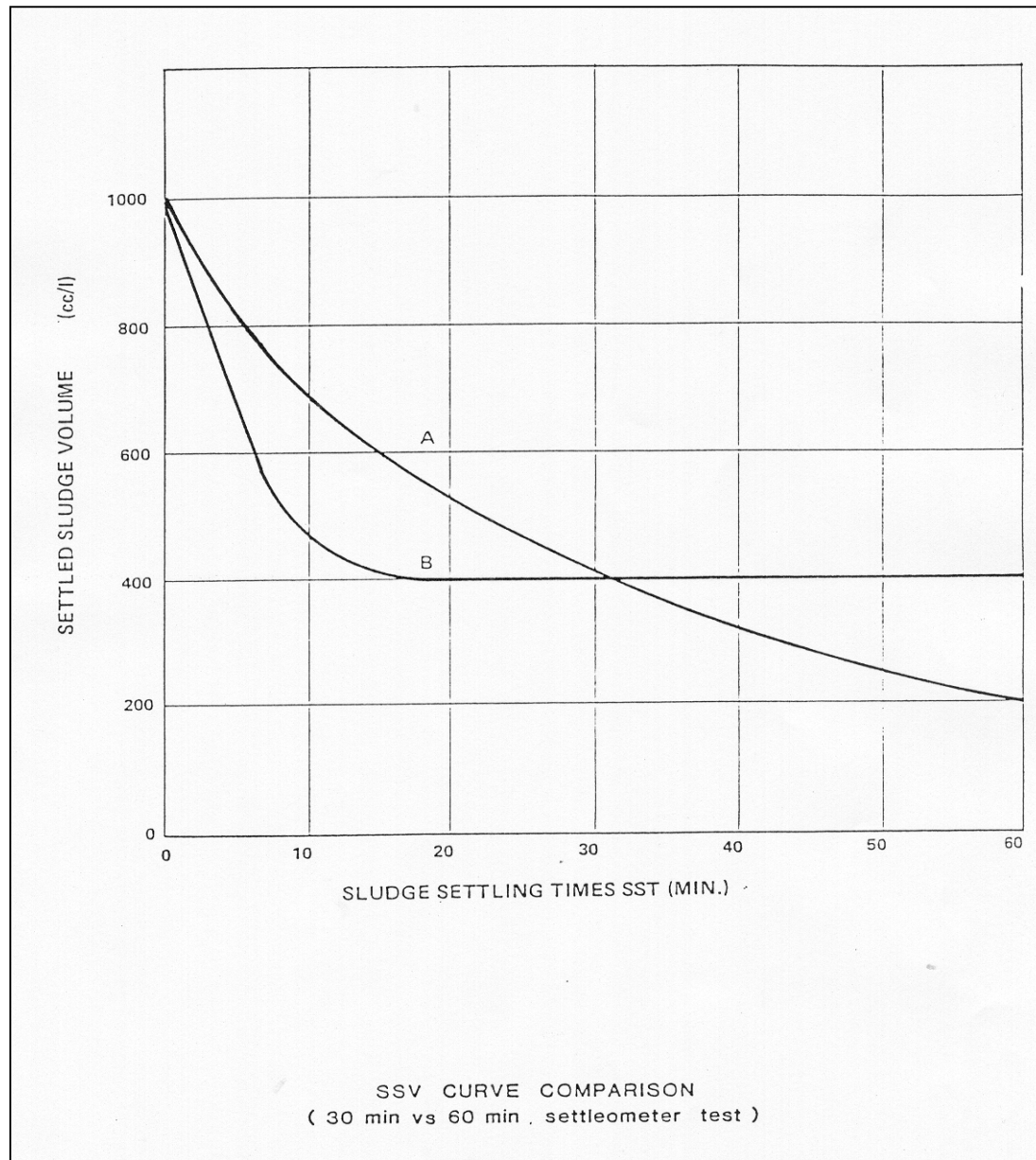
$$\text{DBO:N:P} = 100:5:1$$

$$\text{reactivo a dosificar = } \frac{[\text{DBOent (mg/L)/20}] - \text{NH}_4\text{-Nent} \times 11.000 \times \text{caudal (m}^3\text{/d)}}{\text{riqueza del N del reactivo (\%)}} \text{ (kg/día)}$$

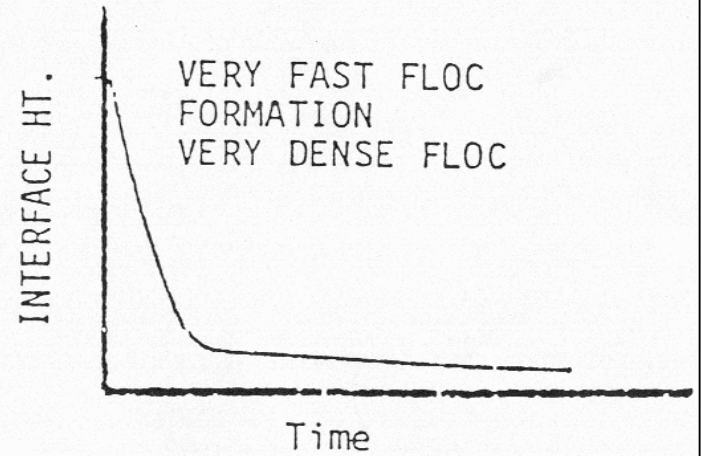
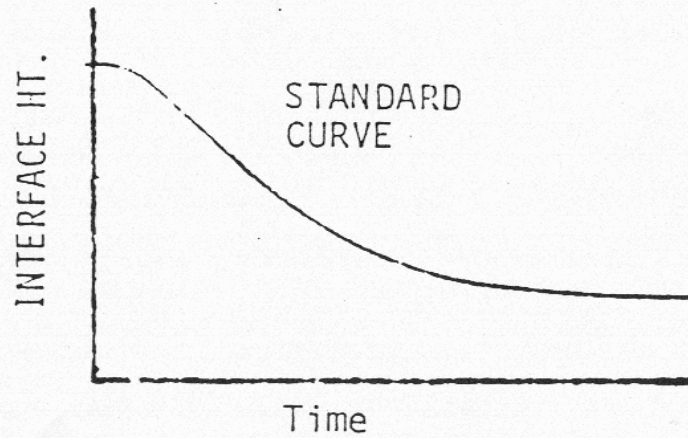
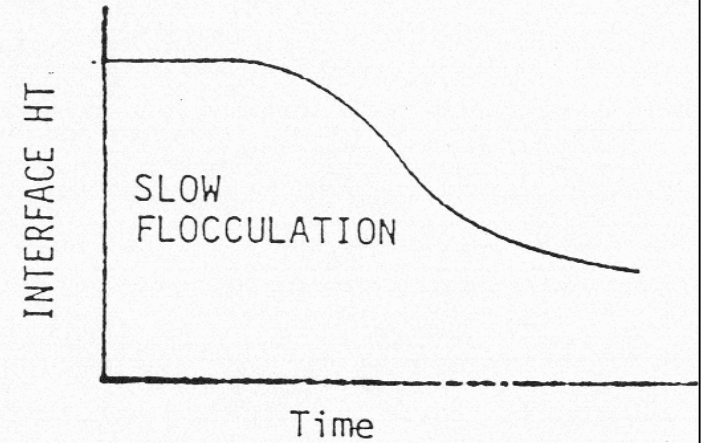
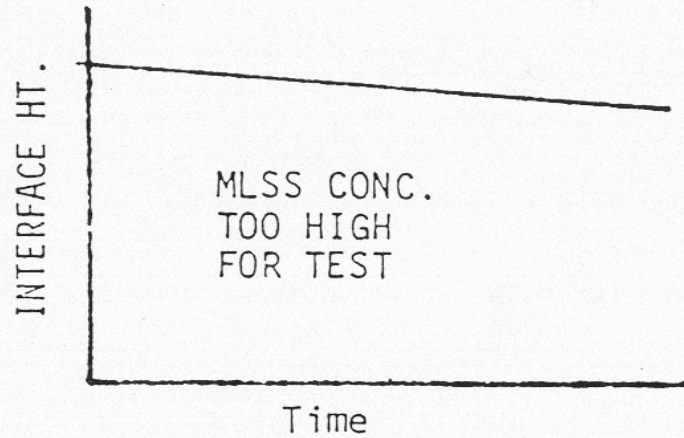
$$\text{DBO:N:P} = 100:5:1$$

$$\begin{array}{l} \text{reactivo} \\ \text{a dosificar} = \frac{[\text{DBO}_{\text{ent}} (\text{mg/L})/100] - \text{PO}_4\text{-P}_{\text{ent}} (\text{mg/L}) \times 11.000 \times Q(\text{m}^3/\text{d})}{\text{riqueza de P del reactivo (\%)}} \\ (\text{kg/día}) \end{array}$$

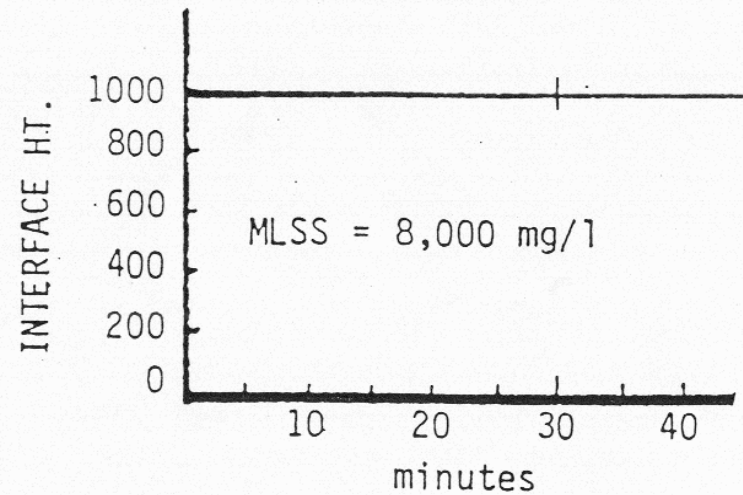
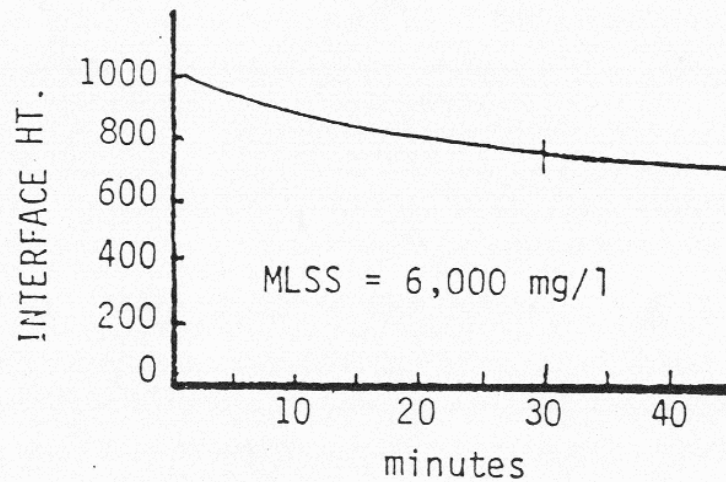
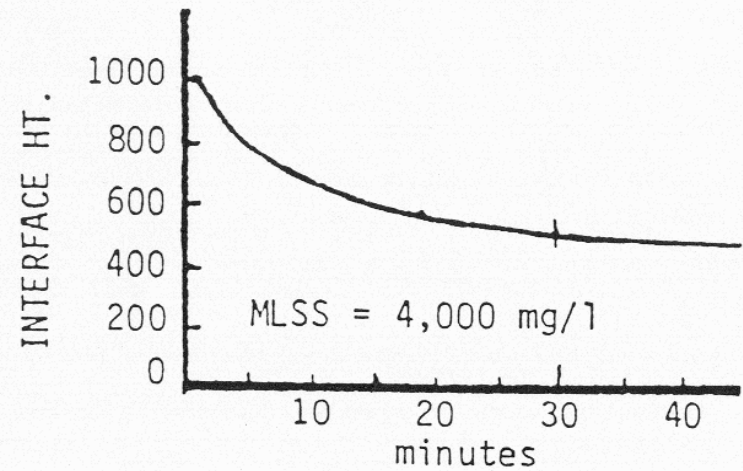
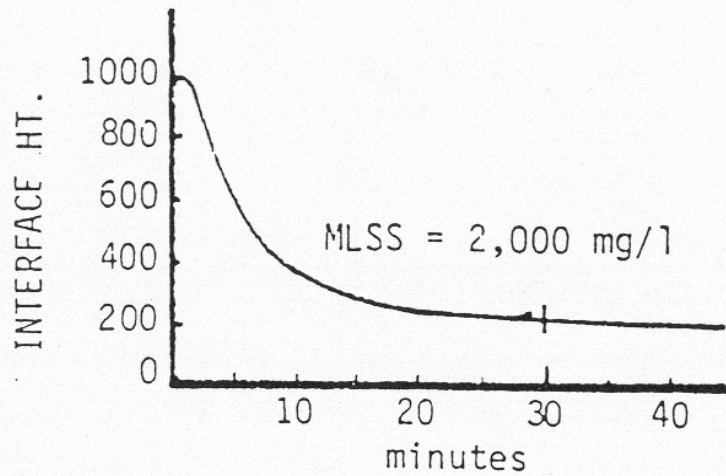




TYPICAL ZONE SETTLING VELOCITY CURVES



(Assumed SVI Constant at 125 ml/gTSS)

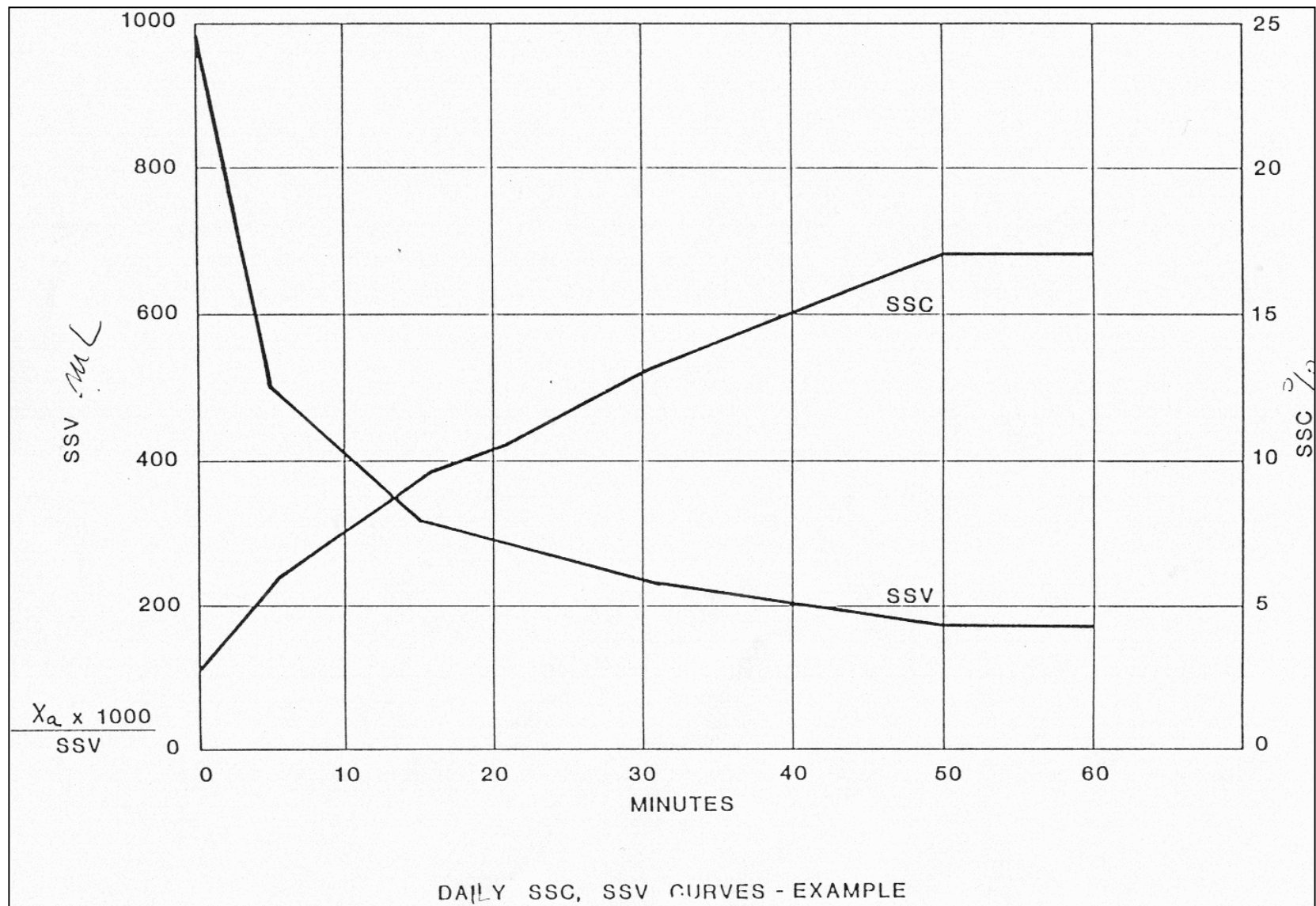


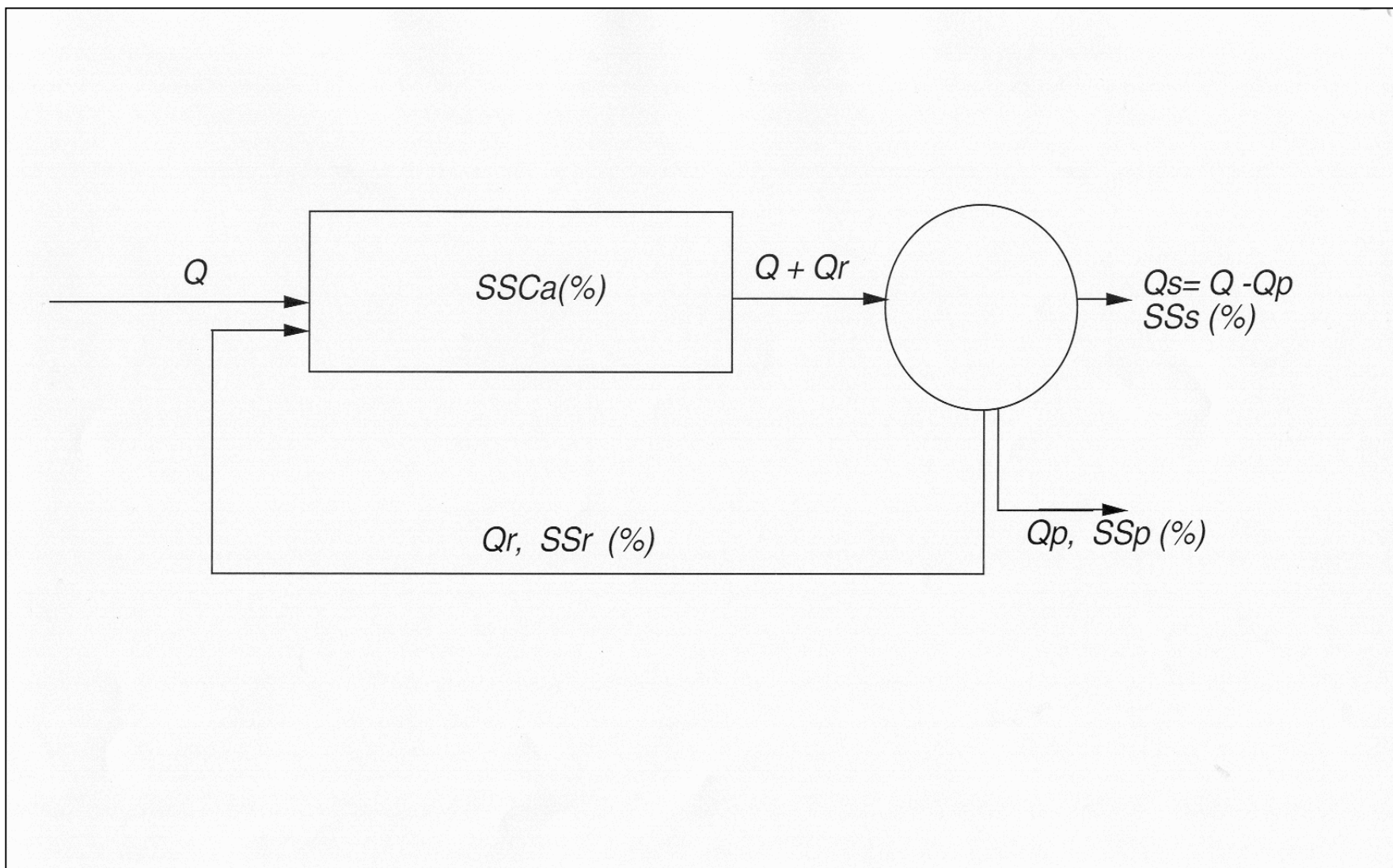
$$\text{SSCt} = \frac{\text{peso del licor de mezcla centrifugado (\% del total)}}{\text{volumen sedimentado en el tiempo t (ml/L)}}$$

ejemplo:

- $\text{SSCa} = \text{peso del licor de mezcla centrifugado} = 3\%$
- $\text{SSC5} = 3\% \times 1000 / 600 \text{ ml} = 5\%$
- $\text{SSC30} = 3\% \times 1000 / 429 \text{ ml} = 7.5\%$
- $\text{SSC60} = 3\% \times 1000 / 300 \text{ ml} = 10\%$

la evolución del SSCt depende del tipo de fango (ver figura)



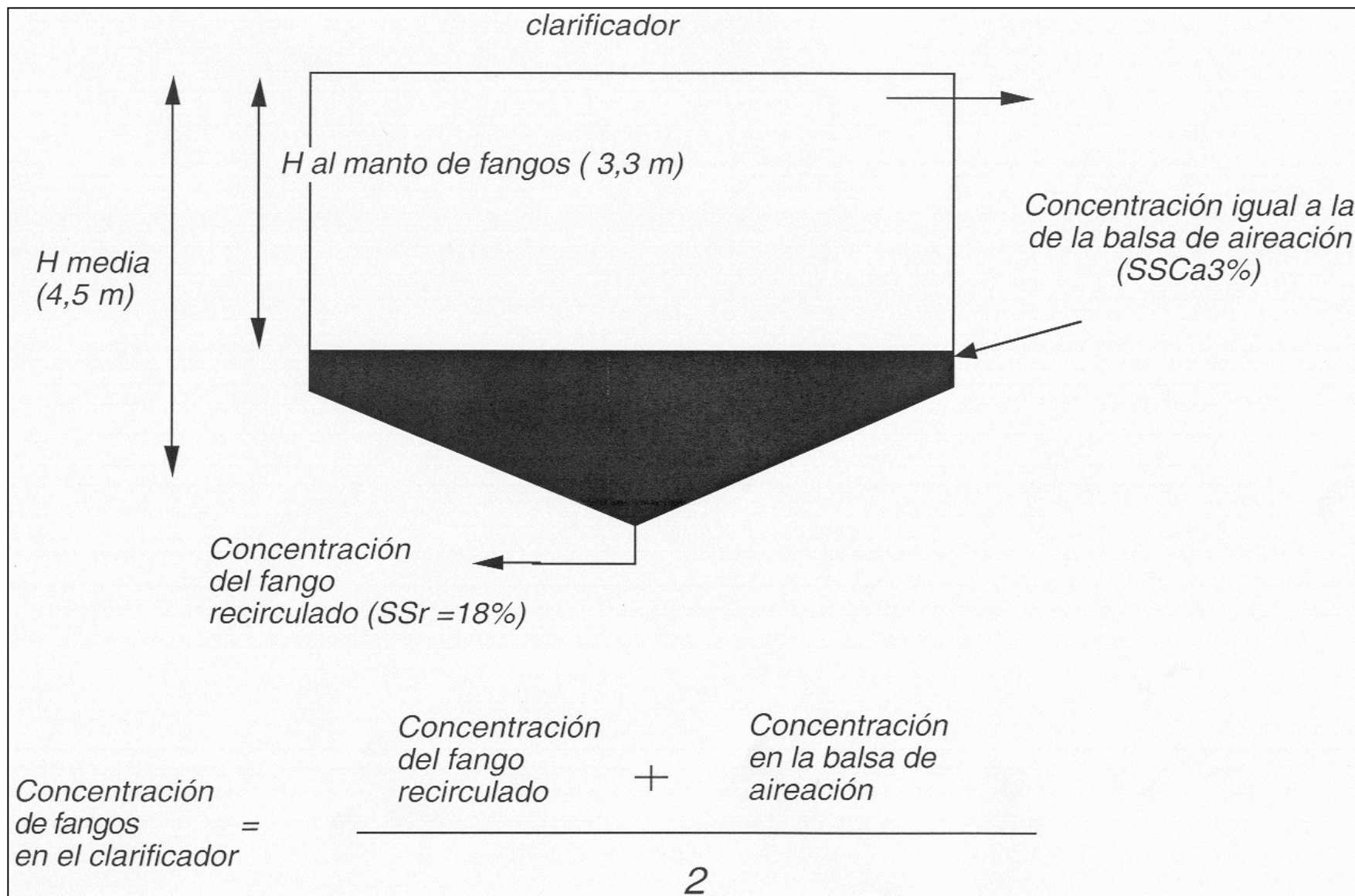


cálculos

- **SSCa** = concentración del centrifugado del licor de mezcla (en % volumen centrifugado)
- **Va** = volumen de la balsa de aireación
- **Fa** = $SSCa \times Va$
- **SSc** = concentración en el clarificador (medición en % volumen)
- **Vc** = volumen de fango en el clarificador
- **Fc** = $Xc \times Vc$

volumen de
fango en el
clarificador

= $\text{prof. media del decantador} - \text{prof del fango} \times 3.14 \times r^2$



- **$F_t = F_a + F_c$**
- SS_r = concentración (%) del fango reciclado
- Q_r = caudal de reciclado (m^3/d)
- **$F_r = SS_r \times Q_r$**
- SS_p = concentración (%) del fango purgado
- Q_p = caudal de purgado (m^3/d)
- **$F_p = SS_p \times Q_p$**

$$\text{“edad del fango”} = \frac{F_t}{F_p}$$

(días)

$$Q_p \text{ deseado} = \frac{F_t}{\text{“edad del fango”} \times SSp}$$

$$\text{tiempo de retención de fangos en la balsa de aireación (TRFA)} = \frac{V_a}{(Q + Q_r)} \times 24 \text{ h/d}$$

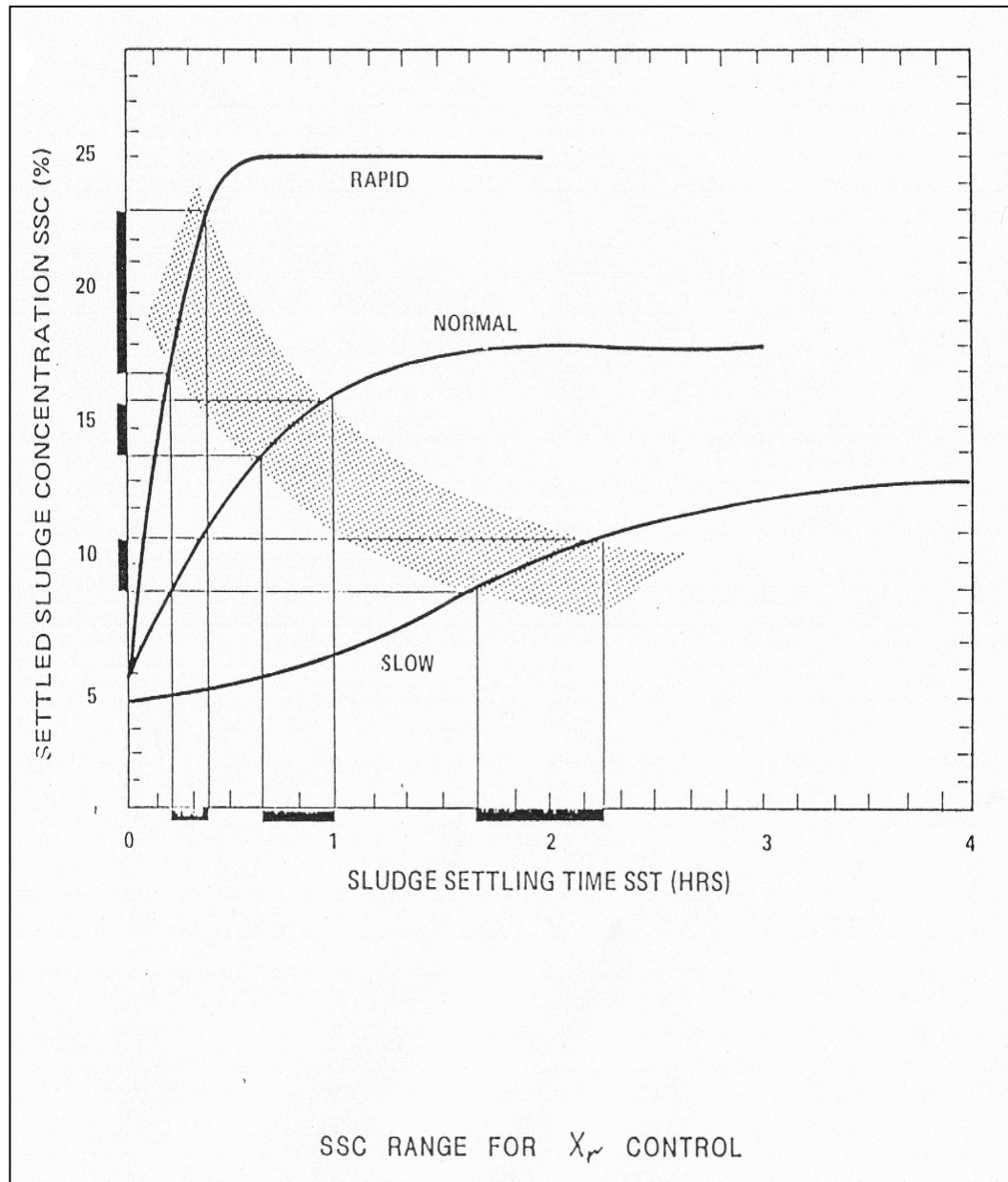
$$\text{tiempo de retención de fangos en el clarificador} = \frac{F_a}{F_r} \times 24 \text{ h/d}$$

- para comprobar la respuesta de la calidad del fango se necesitan al menos un período en días igual a la edad del fango
- la calidad de la sedimentación es indicativa de la calidad del fango
- el SSCt es algo más preciso que el IVF
- se asume que el SSC_{60} es equivalente al comportamiento en el clarificador

$$\frac{TRFa}{TRFc} > 1 \text{ para garantizar un buen fango}$$

mediciones de campo

- oxígeno disuelto en la balsa de aireación
- decantación con centrífuga del licor de mezcla
- sedimentabilidad en la balsa de aireación
- caudales de entrada a la balsa, de recirculación y de purga de fangos
- profundidad del manto de lodos en el clarificador
- turbidez a la salida del clarificador



actuaciones para mejorar la calidad del fango

cómo decidir la concentración del fango de purga (X_p) basándose en la curva del SSCt del fango reciclado

- a. - sedimentación normal, fango de buena calidad,
 - $SSC_{60} = 12\% - 17\%$
 - deja de sedimentarse después de 2 horas
 - entonces $SSr = SSC_{50}$

- b. - sedimentación rápida, fango sobreoxidado, $SSC_{60} > 20\%$
 - deja de sedimentar después de 1 hora
 - entonces $SSr = SSC_{15}$

actuaciones para mejorar la calidad del fango (continuación)

- c. - sedimentación lenta, $SSC_{60} < 10\%$
- necesita 3 ó 4 horas para alcanzar la sedimentación final
 - suele ser el comportamiento de un fango joven
 - el nivel de manto de fangos permanece alto en el clarificador
 - riesgo de bulking
 - entonces $X_r = SSC_{120}$

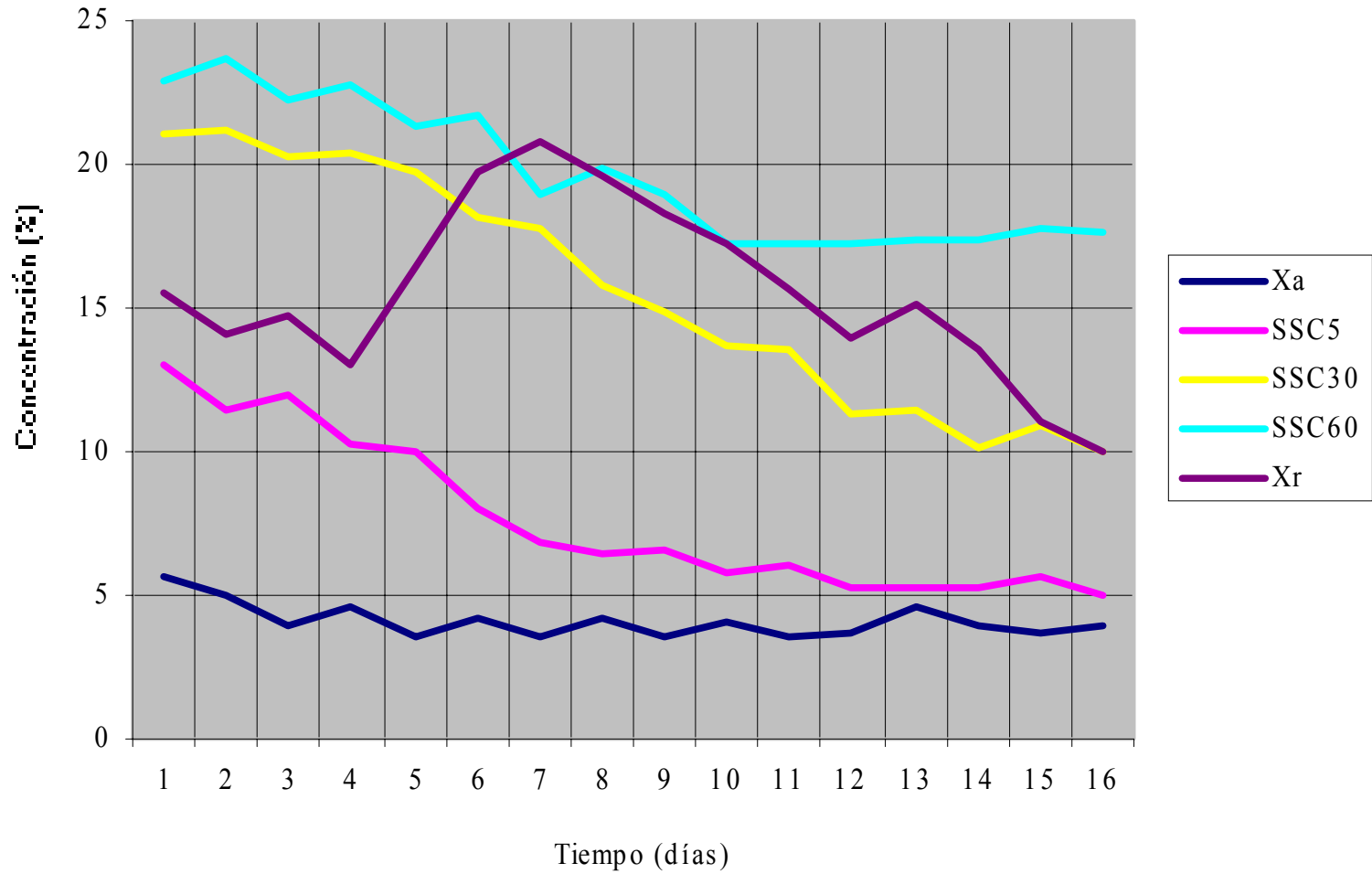
$$Q_r \text{ deseado} = \frac{Q_r (X_r - X_a)}{(SSC_t - X_a)} \quad t = \text{tiempo}$$

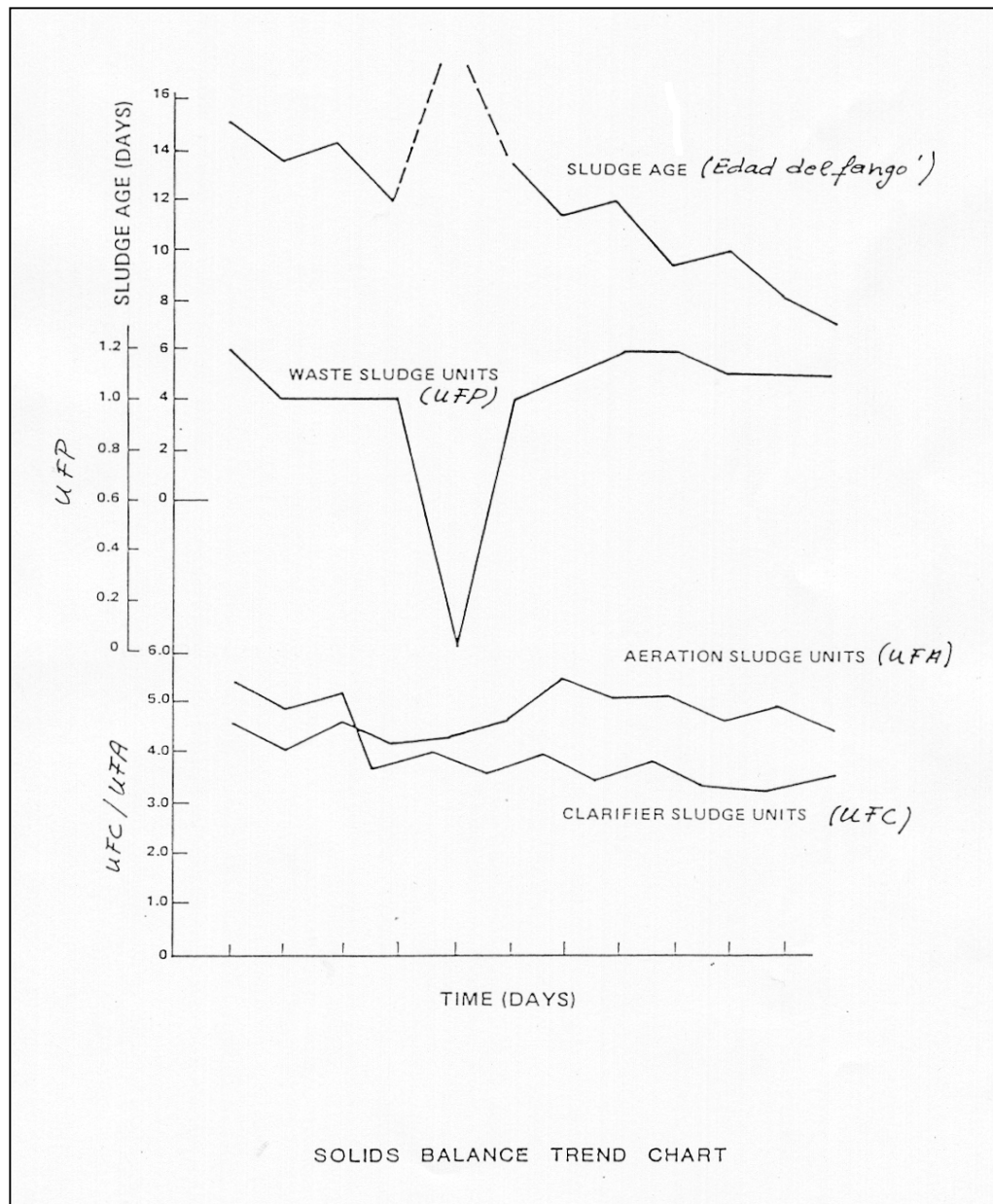
actuaciones para mejorar la calidad del fango (continuación)

d. gráficos históricos de los siguientes parámetros:

- peso del licor de mezcla centrifugado (SSCa)
- “edad del fango”
- unidades de fangos purgados (Fp)
- tiempo de residencia en la balsa de aireación (TRFa)
- tiempo de residencia en el clarificador (TRFc)
- turbidez a la salida (proporcional a la DBO)
- profundidad del manto de fangos
- SC_{60} , SSC_{15} , SSC_5

Sedimentabilidad del fango. Tendencia.





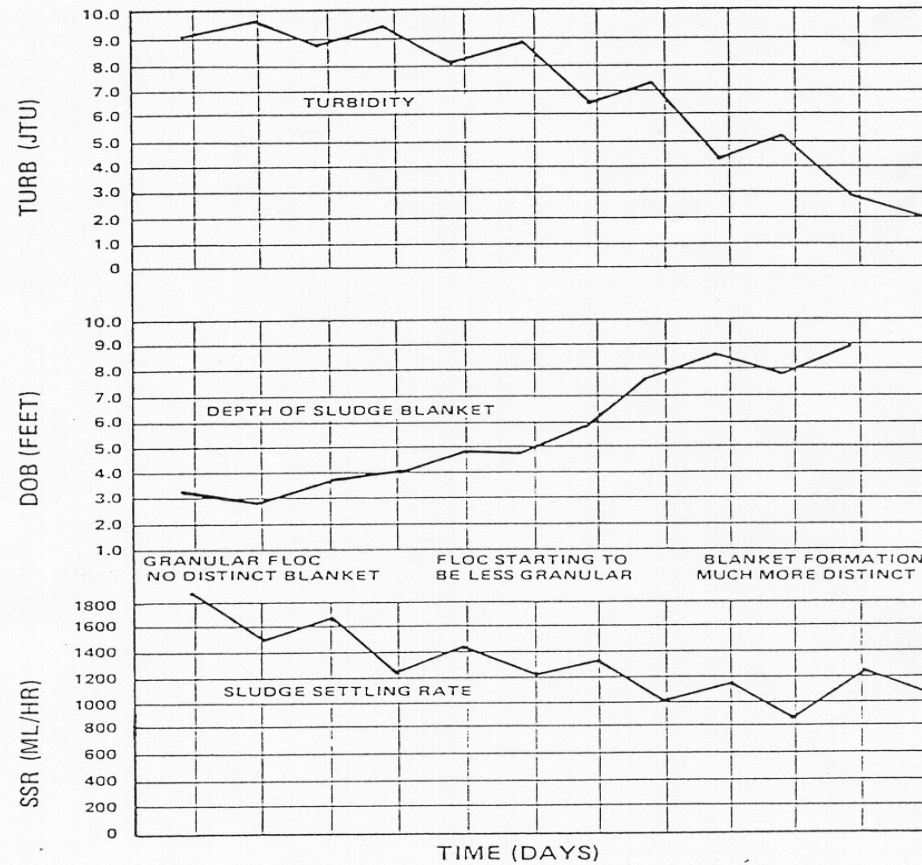
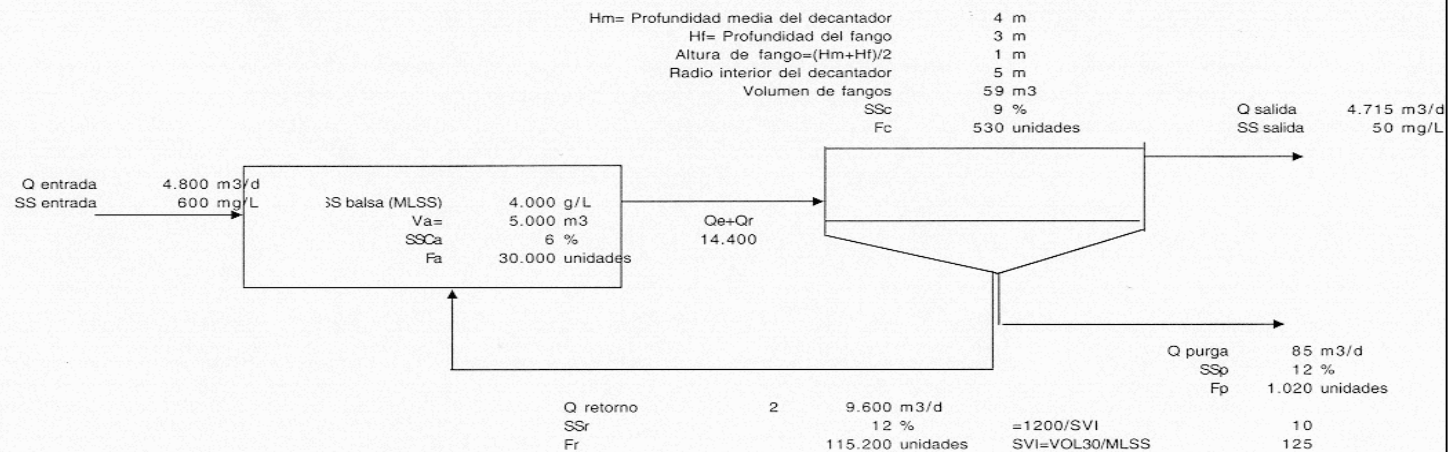


FIGURE 4.9
PROCESS VARIABLE TREND CHART
(Turb, DOB, SSR)



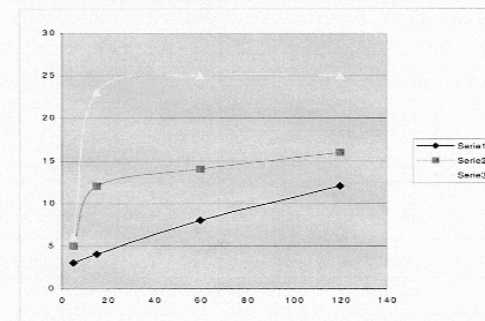
$F_t = F_a + F_c$ 30.530 unidades
 F_p 1.020 unidades
 $Edad\ del\ fango = F_t / F_p$ 30 días
 $Edad\ del\ fango\ propuesta$ 30 días
 $Q_p\ deseada = F_t / EF \cdot SS_p$ 85 m³/d

TR del fango en la balsa de aireación $Tr_a = V_a / (Q_e + Q_r)$ 8,3 horas
 TR del fango en el clarificador Tr_c 6,3 horas

$Q_{rd} = Q_r \cdot (SS_r - SSC_a) / (SS_c - SSC_a)$ $Q_{rd} \cdot k$
 Decantación rápida 3.388 0,4
 Decantación normal 7.200 0,8
 Decantación lenta 9.600 1,0

Características de decantación de la balsa de aireación

$SSCa$	Lento	3% Normal	Rápido	
5	3	5	6	
15	4	12	23	
60	8	14	25	
120	12	16	25	



	1	2	3	4	5
$SSCa$ (medida)					
SSr (medida)					
SSC_5					
SSC_{15}					
SSC_{60}					
SSC_{120}					
Edad del fango (medida)					
SSr (recomendada)					
Edad del fango (recomendada)					
F_p					
F_a					
F_c					
Turb					
Altura del lecho del fango					
Velocidad de decantación de fangos ml/h					