

Tema 3

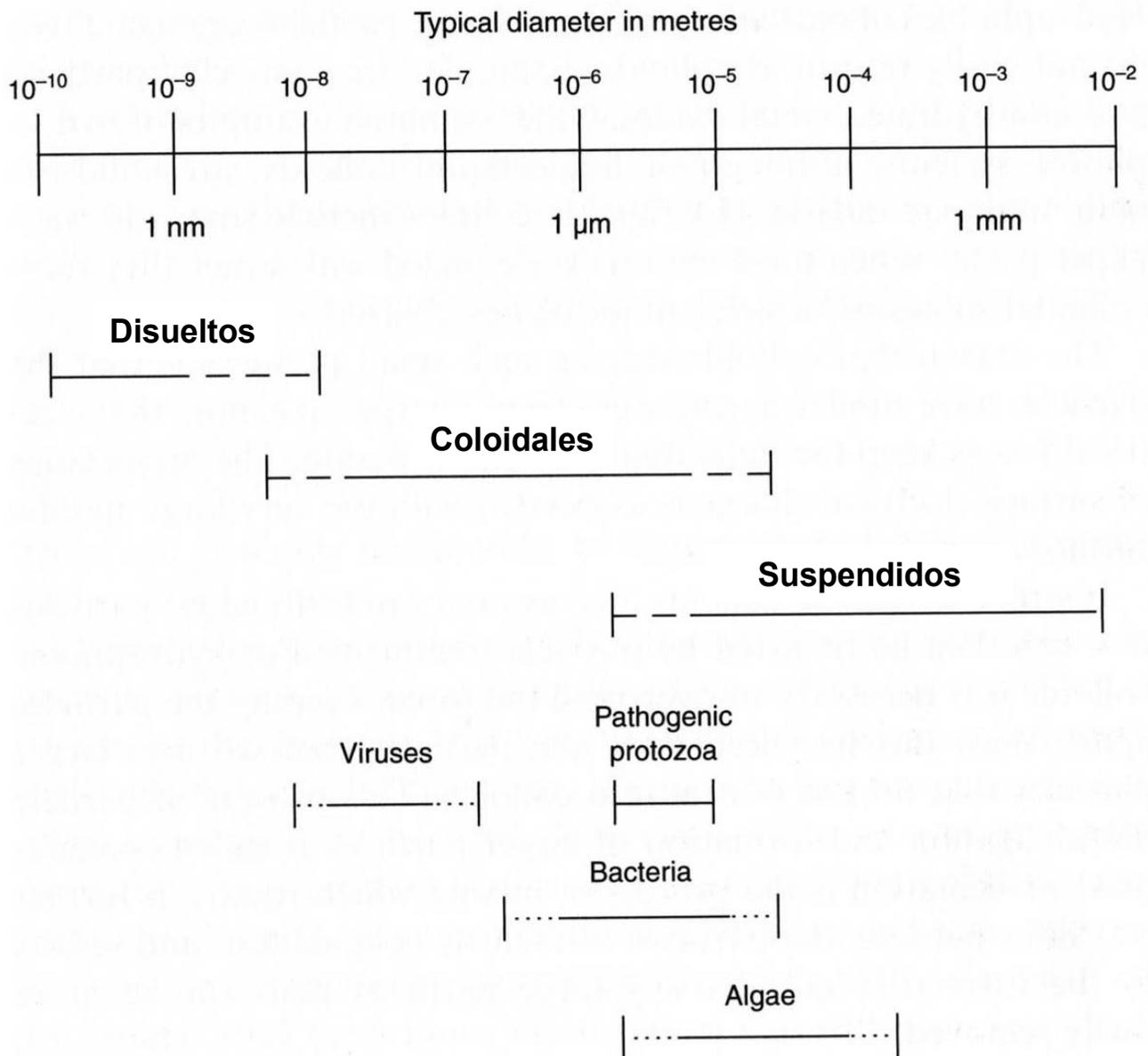
Tratamientos Físicos

ÍNDICE

- **Introducción**
- **Desbaste**
- **Homogeneización**
- **Mezclado**
- **Sedimentación**
- **Flotación**
- **Aireación**
- **Filtración**

INTRODUCCIÓN

- Procesos unitarios físicos → Modifican la calidad del agua por la acción de fuerzas físicas (ej. sedimentación,...).
- Rango de tamaños de las partículas de interés en el tratamiento de aguas:



Desbaste

- **Objetivo:**
 - Eliminar los contaminantes de mayor tamaño para proteger las instalaciones
- **Clasificación** en función del tamaño de abertura:
 - **Rejas o enrejados gruesos:** Protección de los equipos de la planta (bombas, válvulas, aireadores...).
 - **Tamices o enrejados finos:** Eliminan sólidos de menor tamaño que llevan asociados contaminantes (MO, N, P,..).

Rejas

- Conjunto de **barrotes de acero** uniformemente distribuidos a lo ancho del canal de entrada de agua.
- **Clasificación** en función del tamaño de abertura:
 - Rejas gruesas:
 - Separación de 5 a 10 cm
 - Espesor barrotes : 2 cm
 - Rejas finas
 - Separación de 1.5 a 2 cm
 - Espesor barrotes : 0.5 – 1 cm



Rejas gruesas



Rejas finas

Rejas



Rejas

- Los sólidos se acumulan en las rejas y es necesario limpiarlas periódicamente.
 - **Limpieza manual:**
 - Un operario la limpia periódicamente.
 - Eficacia variable.
 - Pendiente entre 30 y 45° con la horizontal.
 - Pequeñas poblaciones.
 - **Limpieza mecánica:**
 - Rastrillos la limpian periódicamente.
 - Limpieza frontal o desde atrás.
 - Eficacia constante.
 - Disminuye el coste de mano de obra.
 - Pendiente entre 45 y 90° con la horizontal.
 - Grandes poblaciones.
 - **Manipulación y vertido:** Pasos más comunes:
 - Digestión anaerobia.
 - Incineración.
 - Vertido.

Rejas

- **Rejas de limpieza mecánica**



Rejas

- **Localización:**
 - Protección del equipo.
 - Ventilación.
 - Accesibles para la limpieza.
 - Reja gruesa y fina en el mismo canal.
- **Velocidad de paso:**
 - Velocidad muy alta: Arrastre de sólidos.
 - Velocidad muy baja: Se depositan sólidos.
 - Valores adecuados: de 0,6 a 1,0 m/s a Q_{med}
< 1,4 m/s a Q_{max}
- **Pérdida de carga:**
 - Limpieza manual: entre 0.15 y 0.8 m.c.a.
 - Limpieza mecánica: Ec. de Rischmer.

$$h = \beta \cdot \left(\frac{W}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \text{sen} \vartheta$$

h → pérdida de carga (m)

β → factor de forma de la barra (rectangular = 2.42, circular 1.79,...)

W → anchura total del canal (m)

b → espacio libre entre barras (m)

θ → ángulo del enrejado con la horizontal (grados)

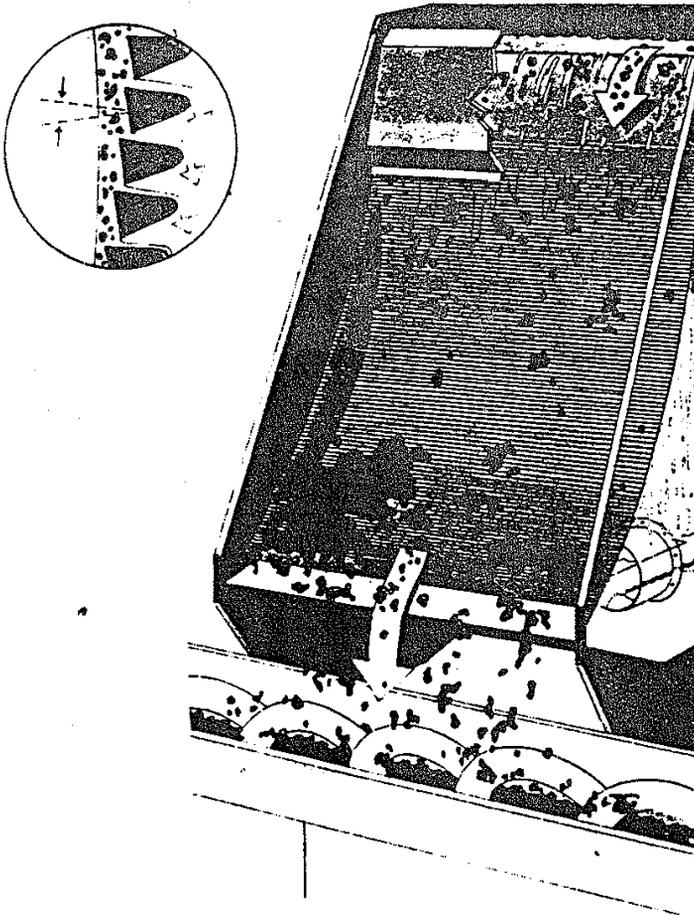
Tamices

- Tamaño de la abertura: de 0.02 a 6 mm.
- Eliminan SS con M.O. y nutrientes.
- Eficacia depende de la abertura.
- Clasificación:
 - Tamices autolimpiables:
 - Abertura entre 0.8 y 1.5 mm.
 - Autolimpiables → por la **gran pendiente** del tamiz los sólidos caen al fondo y el agua atraviesa el tamiz.
 - Pérdida de carga ~ 1.2-2 m
 - Enrejados móviles:
 - Cilindro rotatorio cuya superficie lateral tiene aberturas entre 0.02 y 3 mm.
 - Requiere baja potencia para su funcionamiento
 - Pérdida de carga ~ 0.3-0.5 m

Tamices

TAMIZ AUTOLIMPIABLE

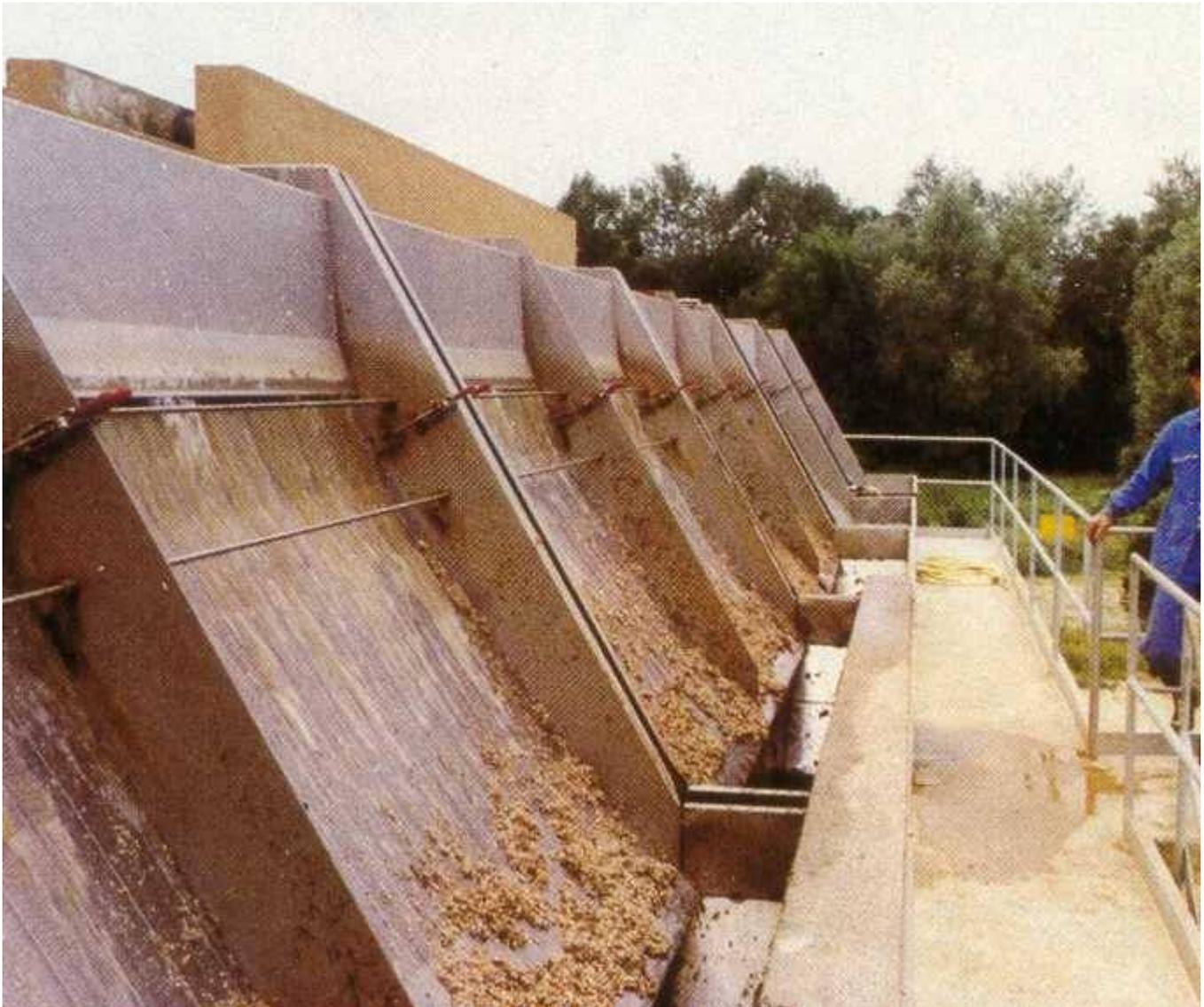
- Abertura entre 0.8 y 1.5 mm.
- Del 20 al 35% de eliminación de SS y DBO.
- Pérdida carga entre 1.2 y 2 m.



Tamices

TAMIZ AUTOLIMPIABLE

- Abertura entre 0.8 y 1.5 mm.
- Del 20 al 35% de eliminación de SS y DBO.
- Pérdida carga entre 1.2 y 2 m.

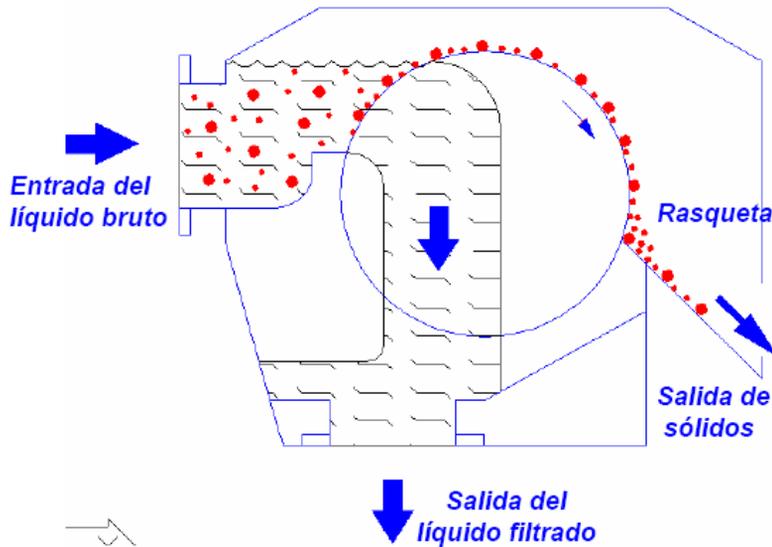


Tamices

TAMIZ ROTATIVO

- Abertura entre 0.02 y 3 mm.
- Requiere baja potencia para su funcionamiento.
- Pérdida carga entre 0.3 y 0.5 m.

Esquema de funcionamiento

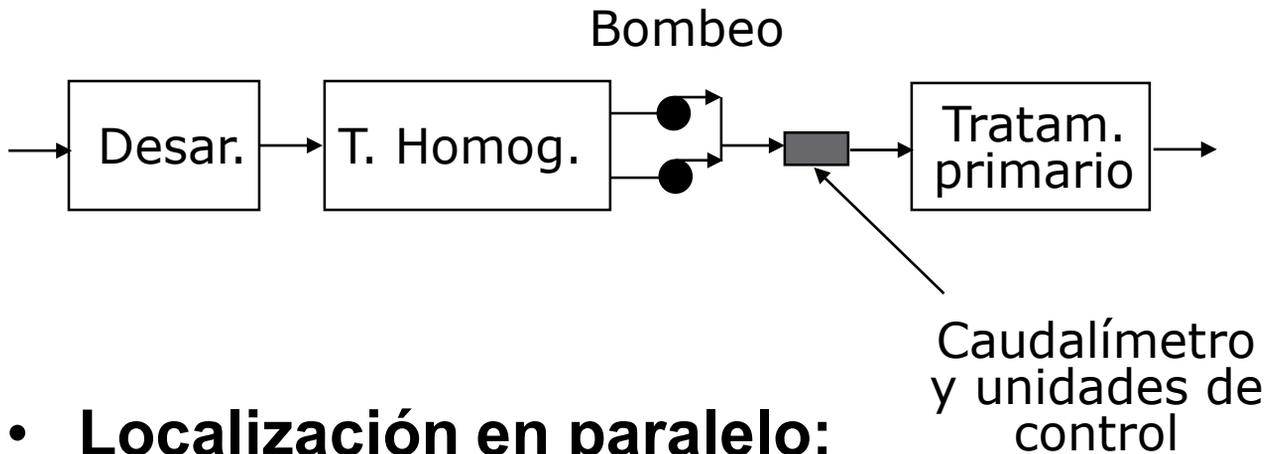


HOMOGENEIZACIÓN

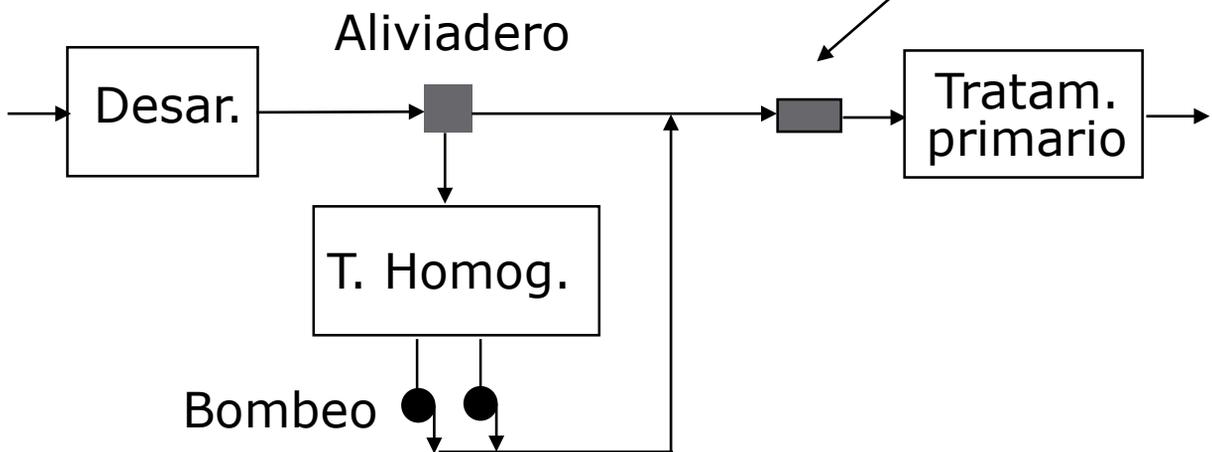
- **Objetivo:** Evitar los problemas originados por las variaciones de calidad y caudal de entrada a una EDAR.
- **Homogeneización** = Amortiguar las variaciones de caudal y calidad.
- **Localización** en la EDAR:
 - Entre el desarenador y el decantador primario
 - En serie:
 - Todo el caudal que entra pasa por el tanque.
 - Sale un caudal constante.
 - Composición más homogénea.
 - En paralelo:
 - Sólo el caudal en exceso sobre el valor medio diario.
 - Minimiza los requisitos de bombeo.
 - Menor homogeneización de la composición.

HOMOGENEIZACIÓN

- **Localización en serie:**



- **Localización en paralelo:**

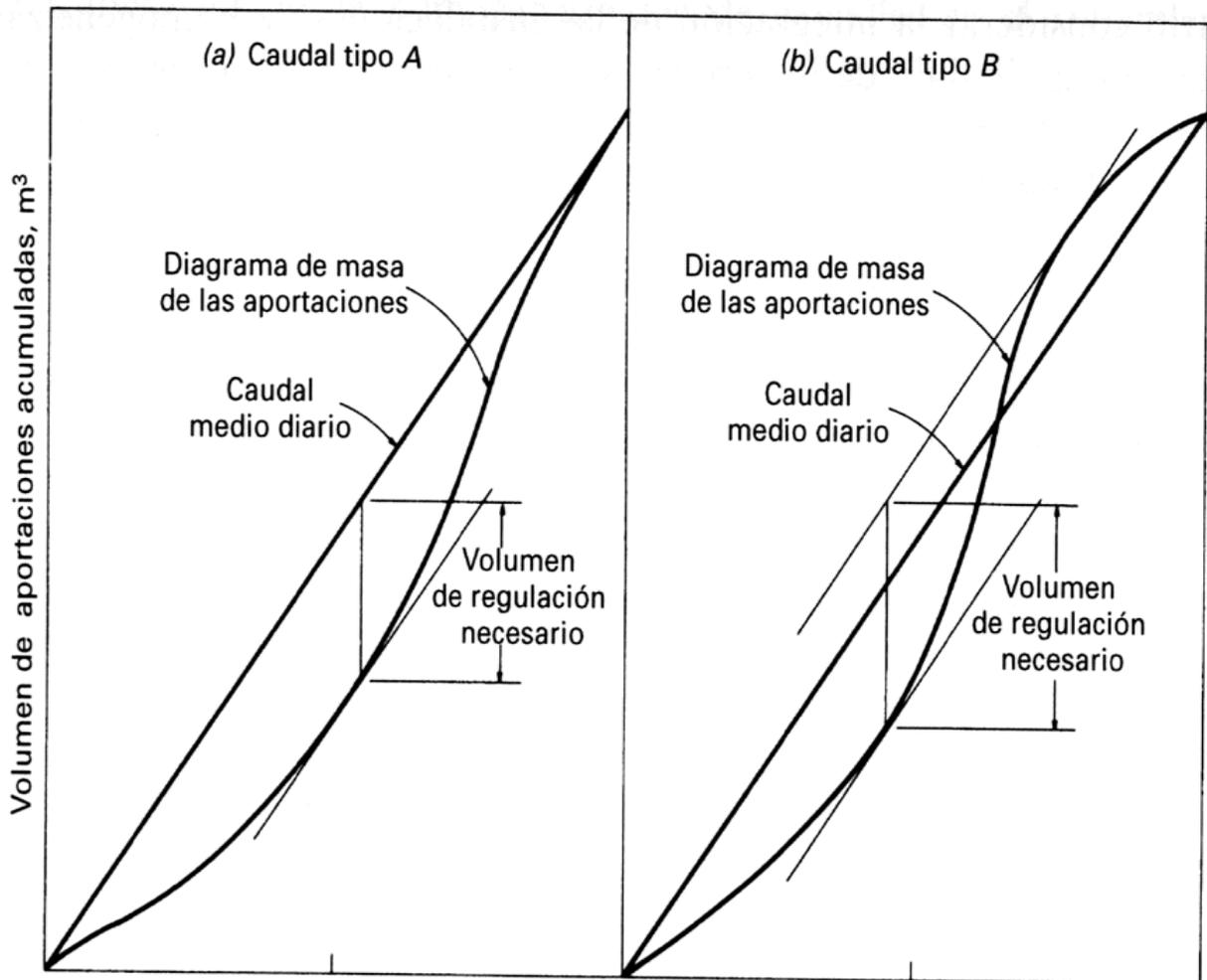


HOMOGENEIZACIÓN

- **Ventajas:**
 - Mejora del tratamiento biológico.
 - Mejora del rendimiento de la decantación y de la calidad del efluente.
 - Mejora del proceso de filtración (menor superficie de filtración, ciclos de lavado uniformes)
 - Mejora de los tratamientos químicos (mayor control en la adición de reactivos).
- **Diseño:**
 - No se suele incluir porque ocupa bastante espacio y no elimina ningún contaminante.
 - Cálculo del volumen del tanque:
 - Se obtiene a partir de una representación del volumen acumulado que entra a lo largo del día.
 - Se aplica un factor de seguridad.

HOMOGENEIZACIÓN

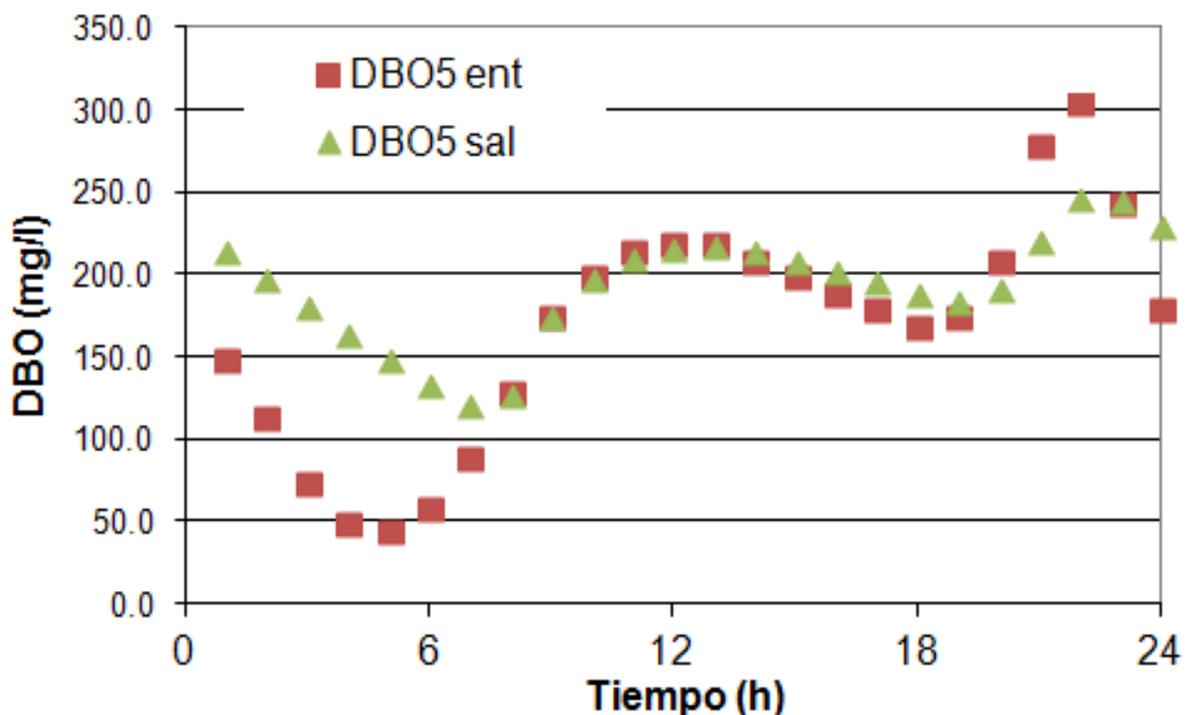
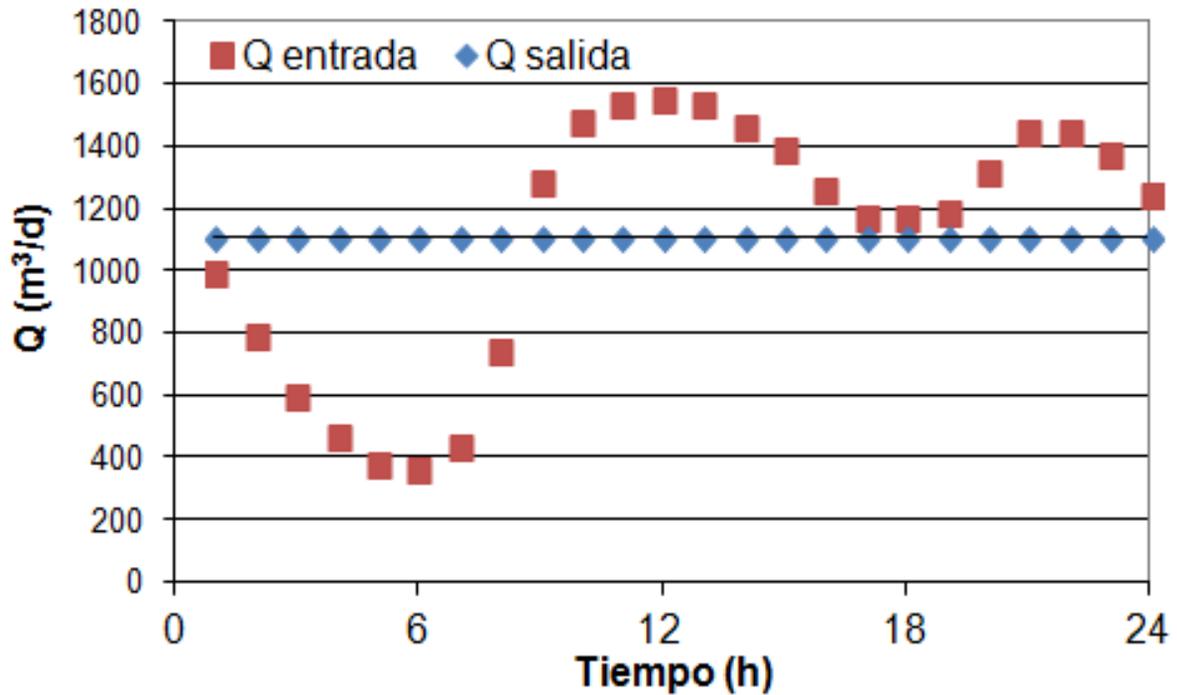
- **Diseño:** Determinación del volumen para 2 tipos de evolución de caudales



- **Aspectos a tener en cuenta**
 - Sistema de agitación: $5-8 \text{ W/m}^3$. Evitar la sedimentación de los sólidos
 - Sistema de aireación: Evitar condiciones anaerobias causantes de malos olores.

HOMOGENEIZACIÓN

- **Ejemplo de funcionamiento**



MEZCLADO

- **Objetivos:**

- Mezclar una sustancia con otra
- Mantener concentración y temperatura homogéneas en un reactor
- Evitar la sedimentación de sólidos.

- **Aplicaciones:**

- ETAP:

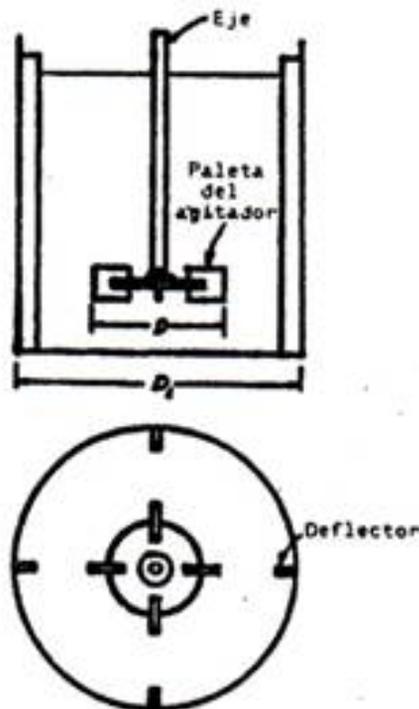
- Mezcla de reactivos: coagulante, desinfectante.
- Proceso de floculación: mezcla lenta para favorecer la formación de flóculos.

- EDAR:

- Mezcla de reactivos: precipitación de fósforo, desinfectante,
- Proceso de floculación: Mezcla lenta para favorecer la formación de flóculos.
- Tanque de homogeneización
- Reactor biológico.

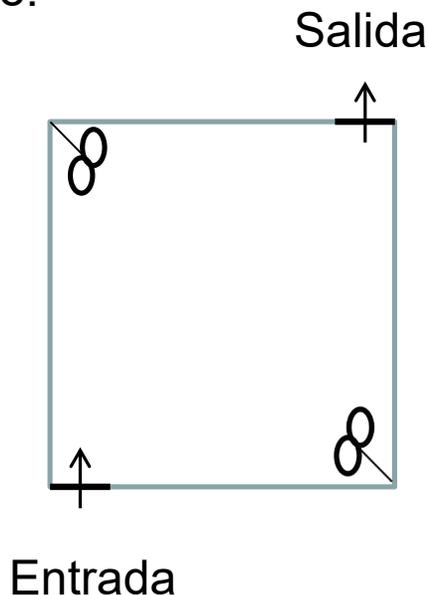
MEZCLADO

- **¿Cómo llevarlo a cabo?:**
 - Mezcla hidráulica. Añadir el reactivo en un punto de elevada turbulencia hidráulica.
 - Uso de agitadores:
 - **Hélices:** Mezcla rápida. Se utiliza en procesos de coagulación y tanques no aireados.
 - **Paletas:** Mezcla lenta. Se utiliza en el proceso de floculación.
 - » $D_{paleta} \geq 1/3 \text{ } \varnothing_{tanque}$
 - » Deflector $\approx 1/10 \text{ } \varnothing_{tanque}$



MEZCLADO

- **Agitación de los reactores biológicos:**
 - **Reactores aireados:** Los equipos de aireación consiguen la agitación del tanque.
 - **Reactores de fangos activados no aireados:** Se suelen instalar 2 agitadores en las esquinas donde no se produce la entrada ni la salida de agua. Entre los dos deben proporcionar una potencia de 20 W/m^3 de tanque.



- **Digestión anaerobia:** Debido a la mayor concentración de sólidos suspendidos basta con una potencia de 5 W/m^3 de tanque. Se usan agitadores aunque en muchas ocasiones se agita mediante recirculación de biogás o recirculación de fango

SEDIMENTACIÓN

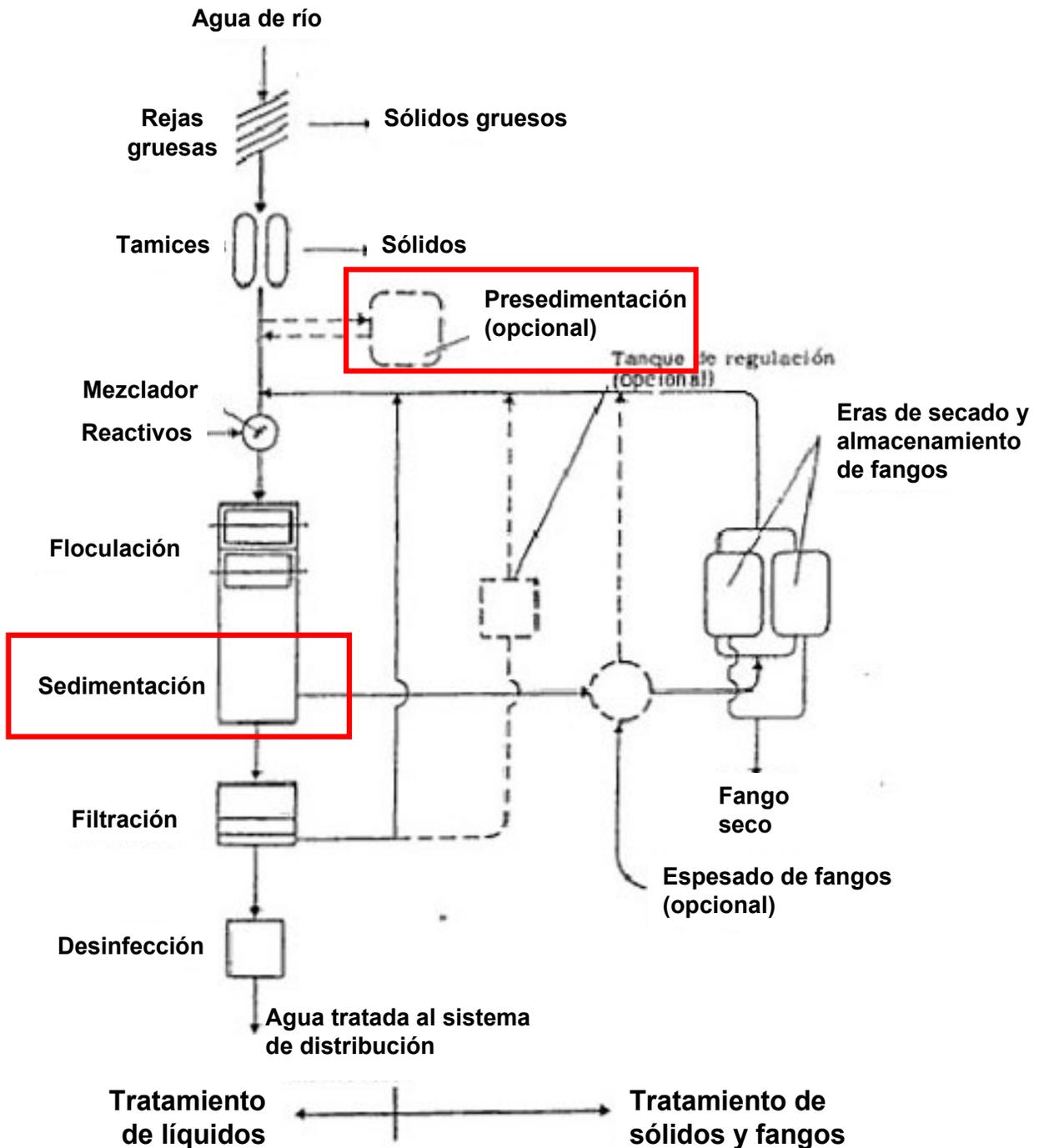
- **Operación física**
- Separación por **acción de la gravedad** de **partículas suspendidas** cuya **densidad** es mayor que la del líquido.
- **Sedimentación = Decantación**



SEDIMENTACIÓN

- **Aplicación en ETAP:**

- Pre-tratamiento de aguas superficiales
- Tras proceso de **Coagulación/Floculación**
- Eliminación de precipitados



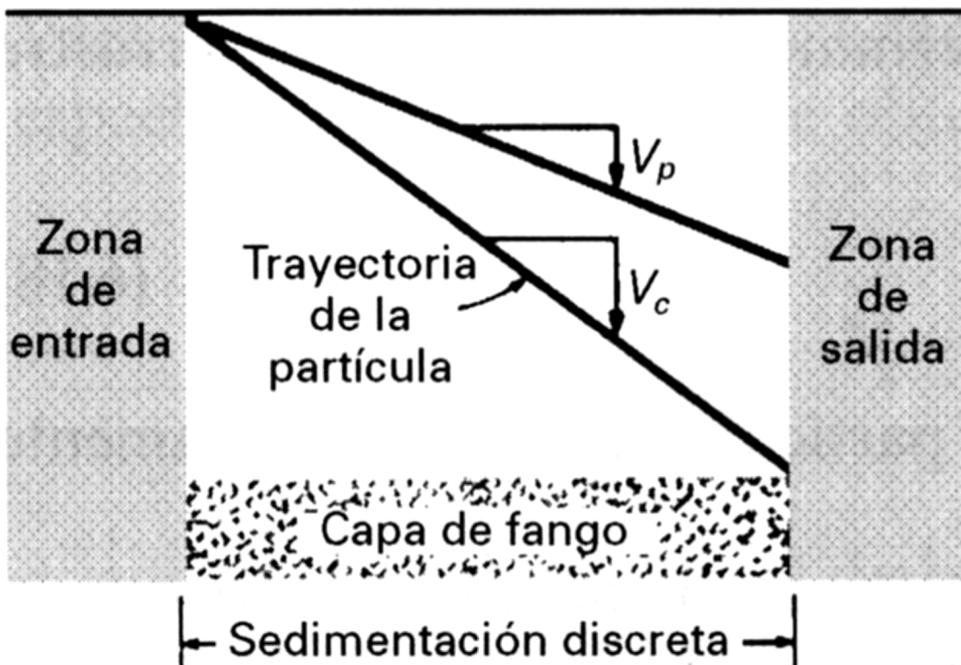
SEDIMENTACIÓN

- **Tipos de sedimentación en función de la interacción entre las partículas:**
 - **Sedimentación discreta** (Tipo I): Las partículas no interaccionan entre sí. Tiene lugar en desarenadores y capas altas de decantadores
 - **Sedimentación floculada** (Tipo II): Las partículas se unen formando flóculos incrementando la velocidad de sedimentación. En decantadores primarios y tras procesos de coagulación-floculación.
 - **Sedimentación zonal o retardada** (Tipo III): Las partículas sedimentan como un bloque manteniendo fijas sus posiciones relativas. En decantadores secundarios y espesadores.
 - **Compresión** (Tipo IV): Las partículas forman una estructura capaz de comprimirse por el peso de nuevas partículas que sedimentan. En el fondo de decantadores secundarios y espesadores

SEDIMENTACIÓN

Sedimentación discreta (Tipo I)

- **Partícula individual cae idealmente en el seno del fluido** → Sin ninguna interacción entre las partículas. Cada partícula se caracteriza por una velocidad de sedimentación



V_c → Velocidad de sedimentación de la partícula que se quiere eliminar:

- Arena → tamaño:

$\gamma = 2.65$	{	1.0 mm	~ 360 m/h
		0.4 mm	~ 151 m/h
		0.2 mm	~ 75.6 m/h
- Flóculo de la coagulación/floculación ~ 3 m/h
 $\gamma = 1.001$ (bien formado, tamaño ~ 2-4 mm)

SEDIMENTACIÓN

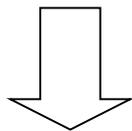
Sedimentación discreta (Tipo I)

- **Diseño tanques de sedimentación**
 - Se basa en establecer una velocidad de sedimentación crítica de forma que todas las partículas con una velocidad superior a la crítica sean eliminadas. La velocidad de sedimentación crítica se conoce habitualmente como carga superficial

$$V_C = \frac{h}{\theta} = \frac{h}{\frac{V}{Q}} = \frac{Q}{A} \quad (\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ día})$$

- De las partículas con velocidad inferior a la crítica

$$\%E \text{ lim} = \frac{V_p}{V_C} \cdot 100$$

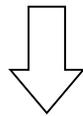


En una EDAR la sedimentación discreta se produce en los DESARENADORES y las capas altas de DECANTADORES PRIMARIOS y SECUNDARIOS:

SEDIMENTACIÓN

Sedimentación Floculada (Tipo II)

- **Atracción entre partículas**, formación de **flóculos**.
 - Las partículas muestran una tendencia natural a aglomerarse **aumentando su tamaño**
 - Durante la sedimentación (tiempo de floculación) **aumentan su masa y velocidad de sedimentación**
 - Permite disminuir tamaño sedimentadores
 - Efluente más clarificado
- Ocurre en decantadores primarios, en tratamientos físico-químicos y zonas superiores de los decantadores secundarios.



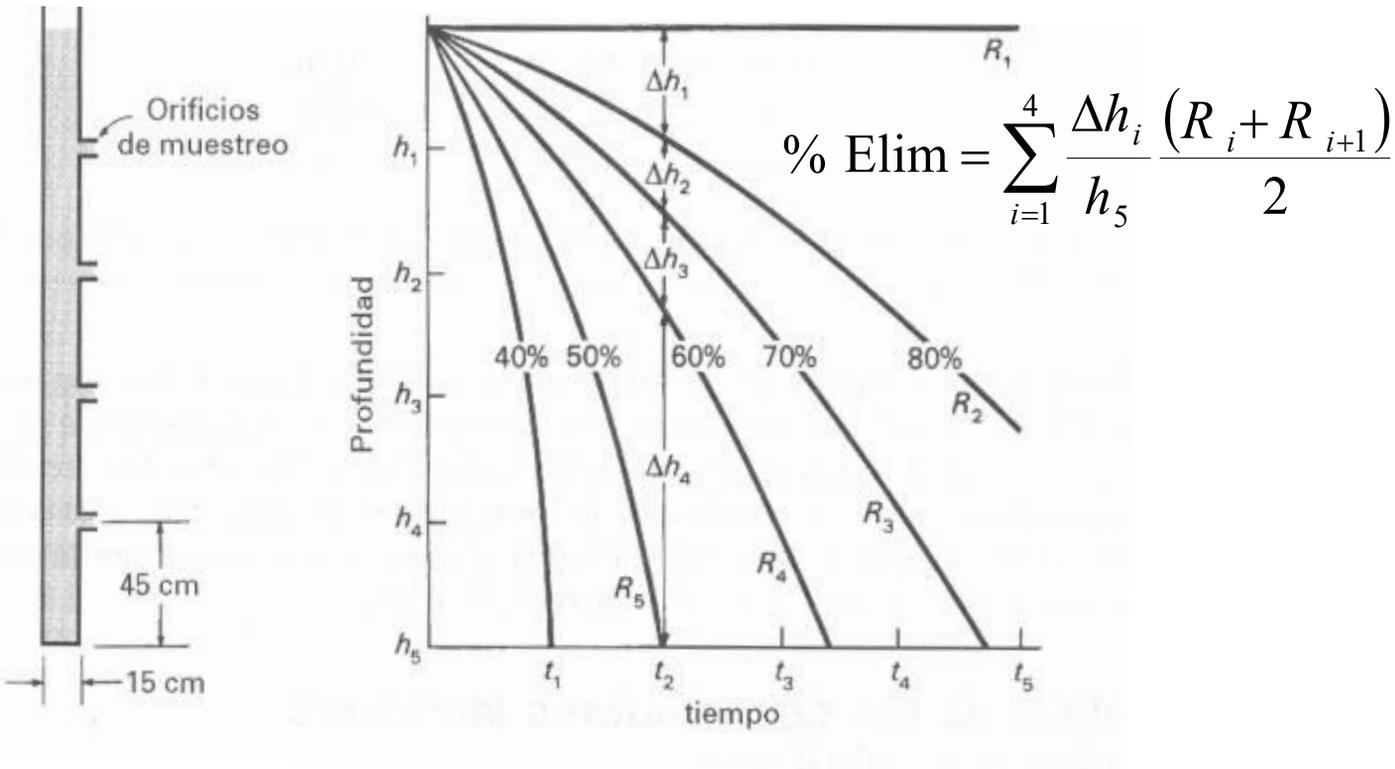
Clarificación del agua residual

- Las partículas más grandes o densas sedimentan a una velocidad mayor que las más pequeñas o ligeras → Efecto barrido.
- La suspensión se clarifica conforme sedimentan las partículas.

SEDIMENTACIÓN

Sedimentación Floculada (Tipo II)

- **Ensayos en columna de sedimentación:**
 - Se utilizan columnas con:
 - Cualquier diámetro.
 - Altura = profundidad del tanque de sedimentación.
 - Determinación de las **curvas de isoeliminación**.

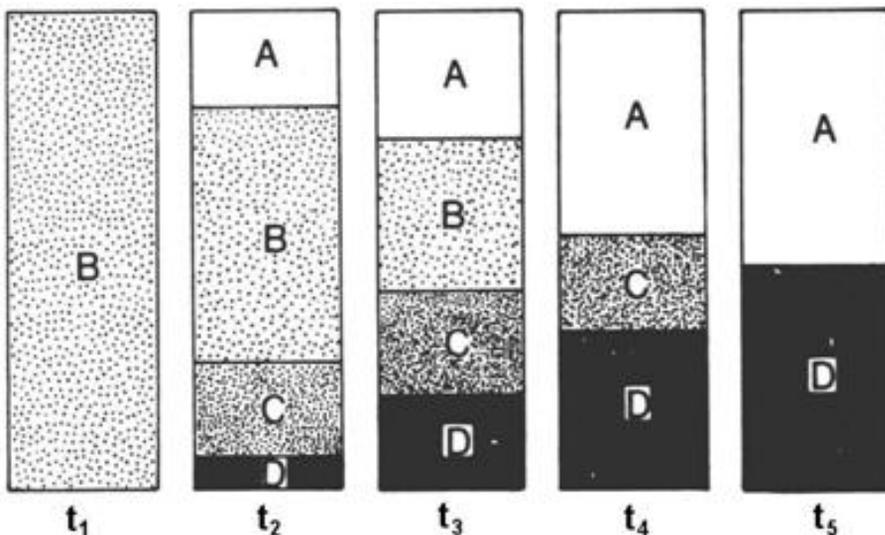


- Se diseña para el tiempo que provoca el máximo % de eliminación en toda la columna con un factor de corrección (no idealidad) para el tiempo de retención de 1.75 – 2.00

SEDIMENTACIÓN

Sedimentación Zonal (Tipo III)

- Las partículas se mueven como un **bloque conservando su posición relativa**, independientemente de su tamaño y densidad.
 - **Interfase** clara entre el sobrenadante y las partículas
- Dec secundarios y espesadores de gravedad.
- Velocidad de sedimentación zonal:
 - La velocidad de sedimentación es función de la [sólidos] existente inicialmente en la suspensión.
 - $A > [\text{sólidos}] \rightarrow <$ velocidad de sedimentación
 - Existen varios modelos matemáticos para describir esta relación: Kynch, Vesilind.



Fases
formadas en
una probeta

SEDIMENTACIÓN

Compresión (Tipo IV)

- Formación de una estructura capaz de **comprimirse** por el peso de nuevas partículas que sedimentan y escurrir el agua hacia arriba.
 - El peso de los sólidos acumulados comprime el fango de las capas inferiores por contacto directo.
 - El agua es expulsada fuera del fango.
- Zonas inferiores de:
 - Decantadores secundarios
 - Espesadores de gravedad.

SEDIMENTACIÓN

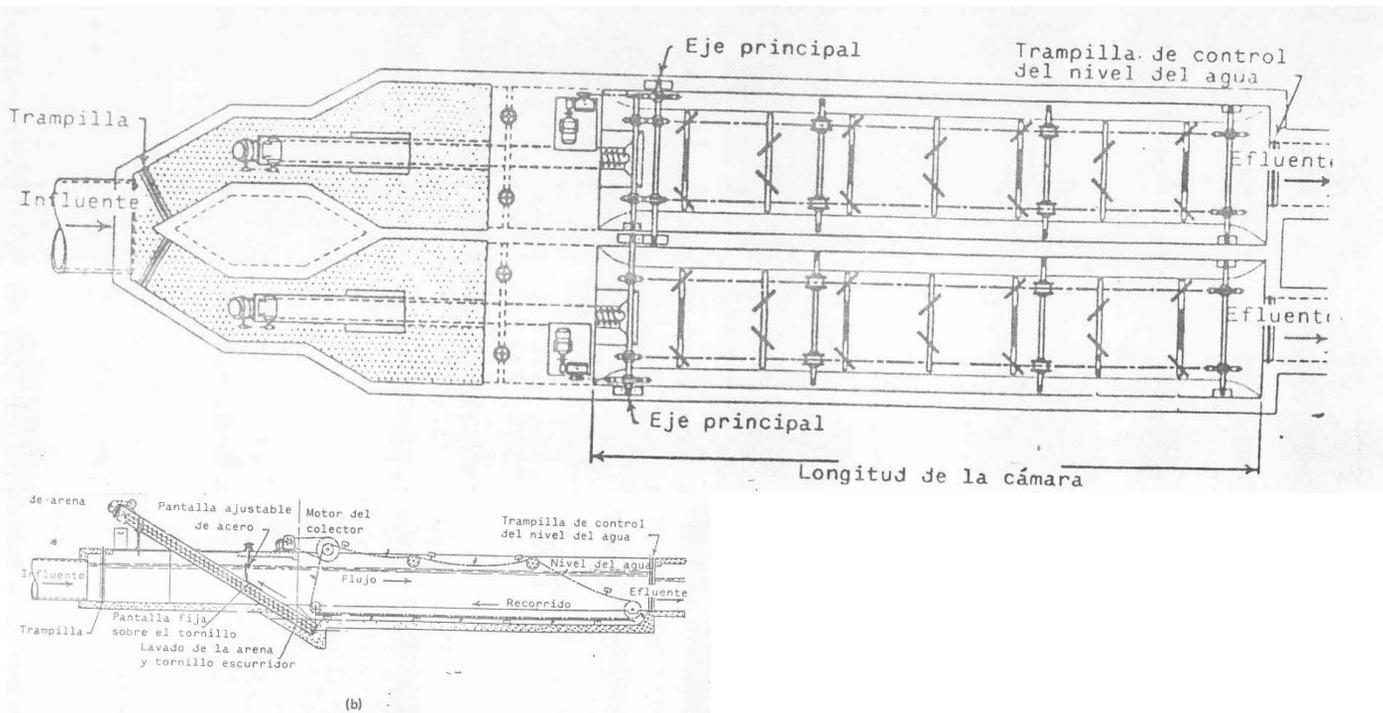
Desarenador

- **Fundamento físico:**
 - Sedimentación discreta de partículas.
- **Objetivo:**
 - Eliminar partículas (arenas y gravas) con densidad y velocidad de sedimentación superiores a las partículas putrescibles.
- **Funciones:**
 - **Proteger** los elementos mecánicos móviles de la **abrasión y el desgaste**.
 - **Reducir** la formación de **depósitos** en las conducciones (tuberías y canales).
 - **Evitar la presencia de materia inerte** en los sistemas de tratamiento (digestor, tanque de aireación, etc)
- **Colocación:**
 - Se suelen colocar después del desbaste y antes de la sedimentación primaria.

SEDIMENTACIÓN

Desarenador

- **Tipos:**
 - De Flujo Horizontal (pequeñas EDARs)
 - Aireado (grandes EDARs)
- **Desarenador de flujo horizontal:** Canal, por el que circula el agua, con un área suficiente para que la carga superficial (V_c) sea pequeña.



SEDIMENTACIÓN

Desarenador de flujo horizontal

- **Criterios de diseño:**

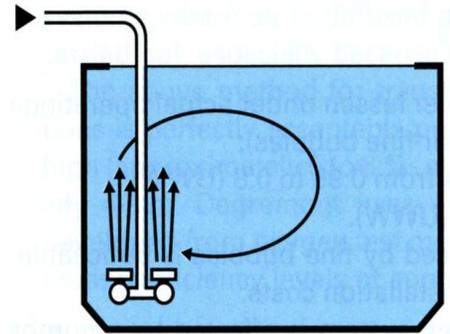
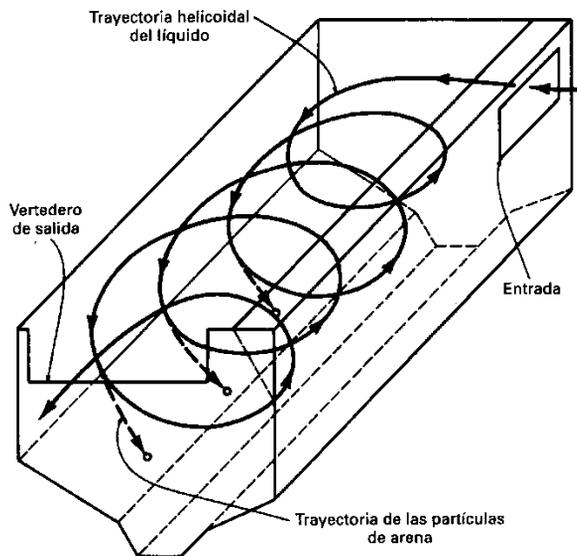
Características	Valor	
	Intervalo	Típico
Carga superficial a Q_{\max} ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$)	≤ 70	45
Velocidad en el canal a Q_{\max} (m/s)	0.3 - 0.4	0.35
Calado (m)	0.4 - 1.4	-
Relación longitud-profundidad	15 – 25	20

- Se fija:
 - Calado.
- Criterios de diseño:
 - Carga superficial.
 - Velocidad en el canal.
- Se comprueba:
 - Relación longitud-profundidad.

SEDIMENTACIÓN

Desarenador aireado

- Para plantas medianas o grandes:
 - El aire inyectado y la forma del tanque producen un flujo en espiral



- **Ventajas:**
 - Calidad de la arena (sin M.O. → directamente a vertedero).
 - Calidad del agua residual (oxida sulfuros).
 - La pérdida de carga es mínima.
 - Flexibilidad de operación.
 - Pueden eliminar grasas (rasqueta superficial y placa deflectora en el extremo final).

SEDIMENTACIÓN

Desarenador aireado

- **Criterios de diseño:**

DESARENADOR AIREADO		
Dimensiones:		
Profundidad, m	2 - 5	
Longitud, m	7.5 - 20	
Ancho, m	2.5 - 7.0	
Relación ancho-profundidad	1 : 1 - 5 : 1	2 : 1
Relación longitud-ancho	3 : 1 - 4 : 1	3 : 1
Tiempo de detención a caudal punta, min	2 - 5	3
Suministro de aire Nm ³ /min·m de longitud	0.15 - 0.45	0.3
Suministro de aire Nm ³ /h·m ³ de tanque	0.5 - 2.0	1.0
Cantidades de arena y espumas:		
Arena, m ³ /10 ³ m ³	0.004 - 0.020	0.015
Espumas, ml/m ³	7.5-45	25

SEDIMENTACIÓN

Desarenador

- **Gestión de la arena:**
 - **Recogida** de la arena:
 - Rasquetas de fondo
 - Bomba extractora
 - **Lavado** de la arena para eliminar la materia putrescible (<3%).
 - **Vertido** de la arena:
 - Vertedero controlado
 - Disposición sobre el terreno



SEDIMENTACIÓN

Decantador primario

- Puede ser rectangular o circular. Circular más habitual por la recogida de fango más sencilla. Rectangular permite un mejor aprovechamiento de la superficie.
- Aunque predomina la sedimentación floculada no se realizan experimentos de laboratorio para obtener las curvas de isoeliminación para su dimensionamiento.
- **Rendimiento** para aguas residuales urbanas :

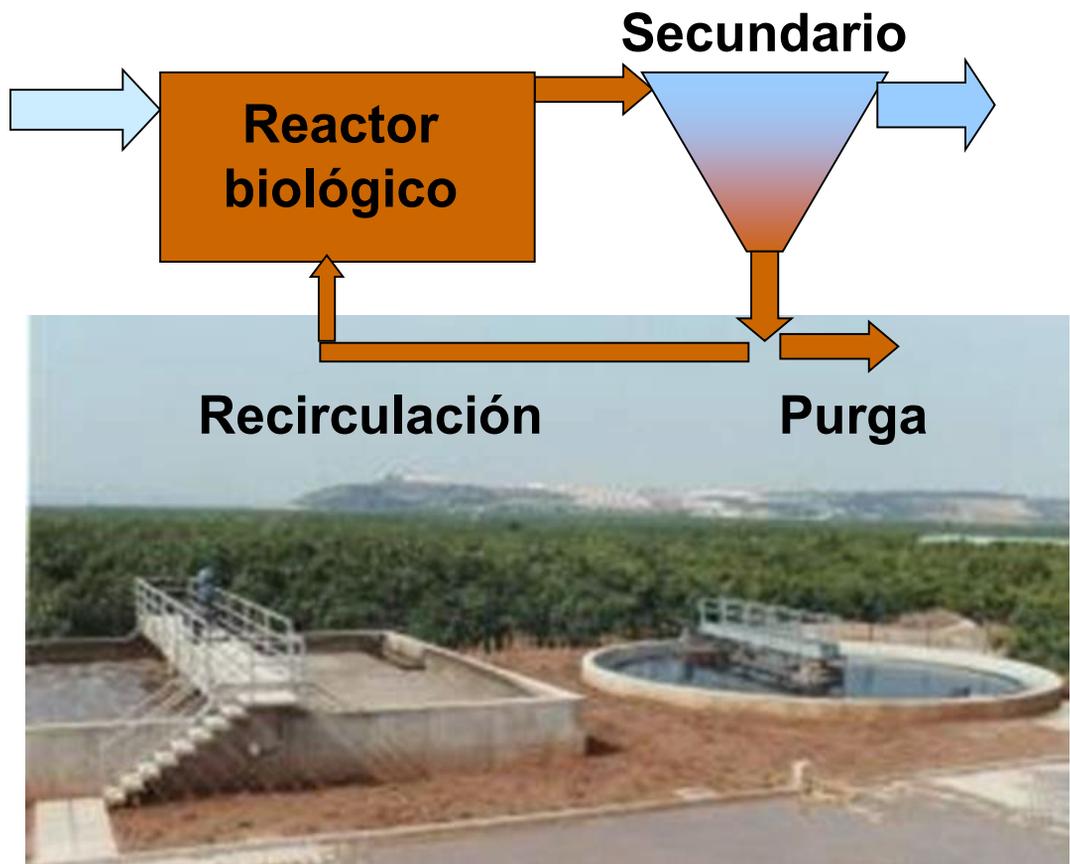
θ_h (horas)	%E SS (20°C y $C_h=30\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$)
1	43
2	55
3	65
4	66
5	67

- Para aguas residuales industriales sí sería necesario obtener las curvas de isoeliminación.

SEDIMENTACIÓN

Decantador Secundario

- Sedimentación floculada/zonal (y compresión en capas inferiores).
- Suele ser circular. También hay rectangulares
- **Objetivos:**
 - **Separar** los microorganismos del agua.
 - **Compactar** los microorganismos para recircular menos caudal.



SEDIMENTACIÓN

Decantador rectangular

- De fácil construcción, permite un mejor aprovechamiento de la superficie disponible.
- El agua se introduce por un lado y se recoge en el lado opuesto. Se limita la velocidad de entrada con deflectores
- Se suelen poner más vertederos para limitar la velocidad de salida del agua. 
- Mecanismos de **recogida del fango**:
 - Rasquetas por puente móvil o cadenas.
- **Características**:
 - Largo : ancho → 3:1 o mayor
 - Ancho : profundo → 1:1 - 2.25:1
 - Pendiente → 1%
 - Profundidad → 3 – 4.5 m
 - Tiempo de retención hidráulico → 3-4 h

SEDIMENTACIÓN

Decantador rectangular

- Rasquetas movidas por cadenas



SEDIMENTACIÓN

Decantador rectangular

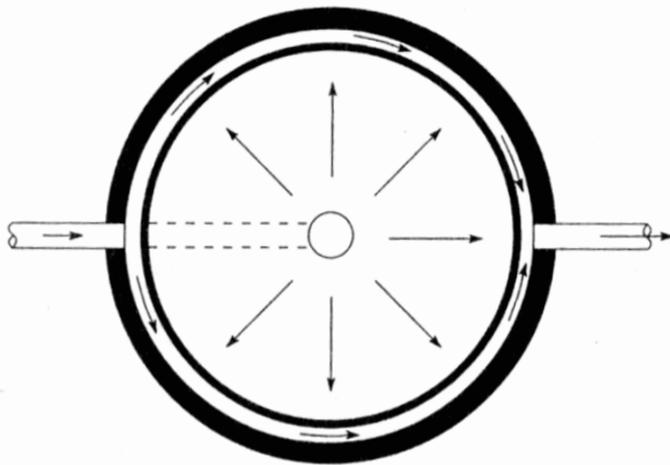
- Rasquetas movidas por puente movil.



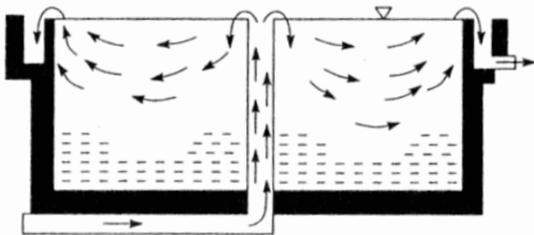
SEDIMENTACIÓN

Decantador circular

- Más utilizados que los rectangulares.
- **Alimentación central**, con **campana deflectora** para distribuir el flujo en todas direcciones.
- **Efluente** se recoge en **vertederos periféricos**.



Plan



Section



La **velocidad no es constante**:
se reduce al \uparrow la sección
transversal

SEDIMENTACIÓN

Decantador circular

- Por su forma → muy susceptibles a corto-circuitos
→ ocupan más terreno (por el espacio que queda entre decantadores)
- Deflector para evitar el escape de sólidos en caso de que se produzca flotación de fangos.



- Recogida del fango → permite mecanismos eficientes y económicos.
 - Sistema de recogida por rasquetas: Más económico.
 - Sistema de recogida por succión: En decantadores de $d > 26\text{m}$ para evitar la excesiva retención del fango..

SEDIMENTACIÓN

Decantador circular

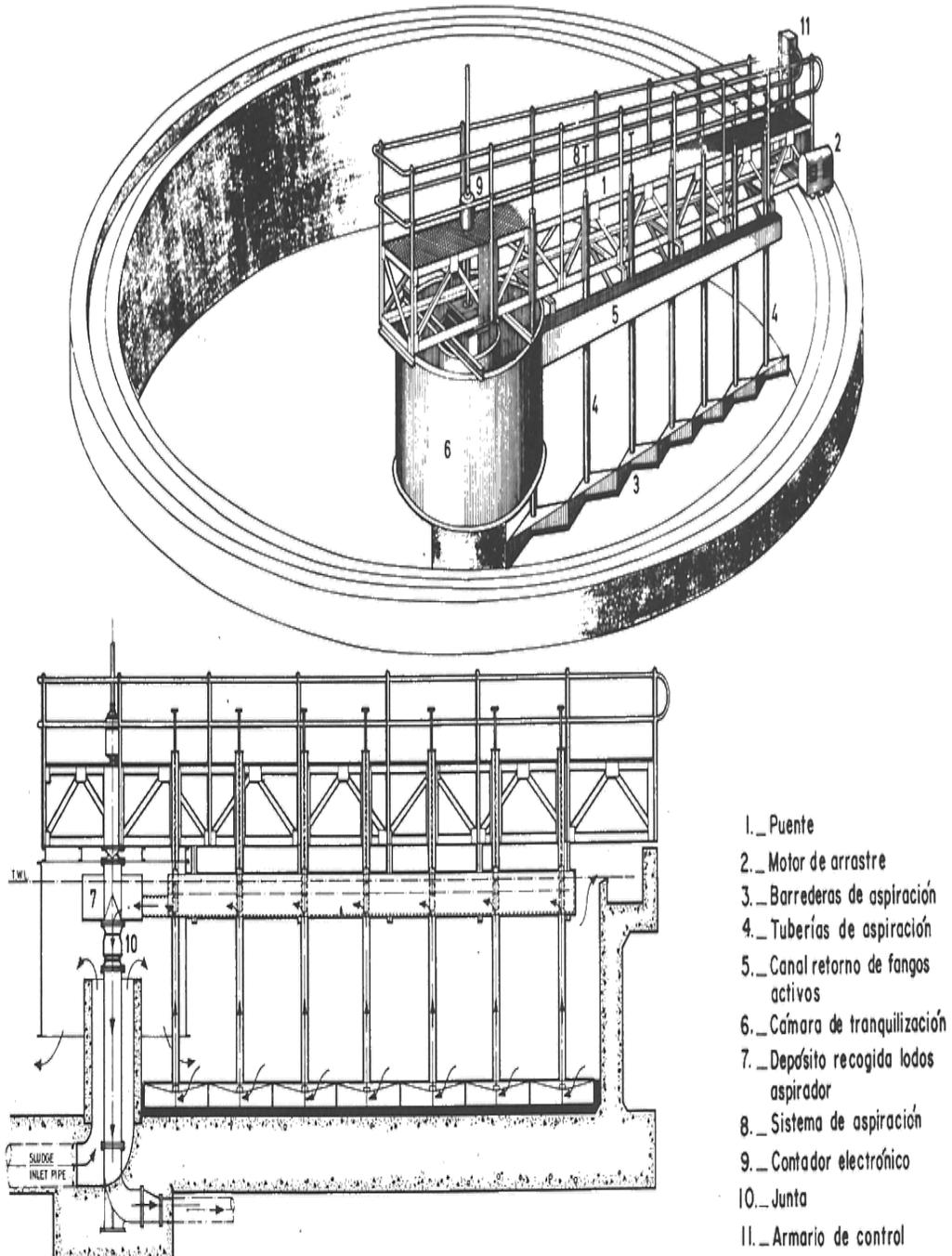
- Recogida por rasquetas. El puente recoge flotantes.



SEDIMENTACIÓN

Decantador circular

- Recogida por succión.



SEDIMENTACIÓN

Decantador circular

- Los decantadores primarios en ocasiones se cubren para evitar malos olores. Agua en condiciones no aireadas puede provocar problemas de olores fundamentalmente por los sulfuros.
- Los decantadores secundarios no se cubren nunca.



SEDIMENTACIÓN

Decantador Primario

- **Criterios de diseño**

Característica	Valor	
	Intervalo	Típico
Tiempo de retención (h) A caudal medio A caudal punta	2 - 3 ≥ 1	2.5 1
Carga sobre vertedero (m³/m·h) A caudal medio A caudal punta	≤ 10 ≤ 40	10 40
Calado (m)	2.5 - 3.5	3
Carga superficial (m³/m²·h) - Decantación primaria A caudal medio A caudal punta - Decantación primaria con adición de fango activado en exceso A caudal medio A caudal punta	≤ 1.3 ≤ 2.5 1 - 1.3 2 - 2.5	1.3 2.5 1.2 2.2

- **Efecto de la temperatura:**

- ↓ **temperatura** ⇒ ↑ viscosidad ⇒ retarda la sedimentación ⇒ ↑ **superficie del decantador**
- **$S_T = S_{20} \cdot F$**
 - $F = 1.82 e^{-0.03 T^a}$, $T^a < 20$ °C
 - $F = 1$ para $T^a \geq 20$ °C
- Diseño para la temperatura más desfavorable.

SEDIMENTACIÓN

Decantador Secundario

• Criterios de diseño

Tipo de tratamiento	Carga Superficial (m ³ /m ² d)		Carga sólidos (Kg/m ² h)		Carga vertedero (m ³ /m h)		Prof. (m)
	Media	Punta	Media	Punta	Media	Punta	
Sedimentación a continuación de filtros percoladores	16-24 (18)	40-48 (40)	3.0-5.0 (3)	≤ 8.0 (4)	12	20	3-4
Sedimentación a continuación de F.A. por aire (excluyendo la aireación prolongada)	16-32 (19)	36-48 (36)	2.5-6.0 (2.5)	≤ 9.0 (4.5)	12	20	3-5
Sedimentación a continuación de aireación prolongada	8-16 (12)	22-32 (22)	1.0-3.0 (1.8)	≤ 7.0 (3.2)	12	20	3-5

– $\theta h \geq 3 \text{ h}$ a Q_{med} ; $\theta h \geq 1 \text{ h}$ a Q_{punta}

– Valores de C_h a Q_{punta} para $SS_{\text{efluente}} < 30 \text{ mg/l}$

SS_{efluente} (mg/l)	C_h (m ³ /m ² ·h)
30	1,5
25	1,2
20	1,0
15	0,9

SEDIMENTACIÓN

Decantador Secundario

- Los fangos biológicos sedimentan peor:
 - Carga superficial menor.
 - Tiempo de retención y calado mayores.

	Primarios		Secundarios	
	Media	Punta	Media	Punta
Carga superficial (m ³ / m ² d)	≤31.2	≤60	16-32	36-48
T. de retención (h)	2-3	≥1	3-4	≥1
Profundidad (m)	2.5 – 4.0		3.0 - 4.5	

Característica	Valor
Diámetro (m)	3 - 30
Profundidad (m)	2,5 – 4,0
Pendiente suelo	
Rasquetas	1 : 12
Succión	1 : 10

Primarios

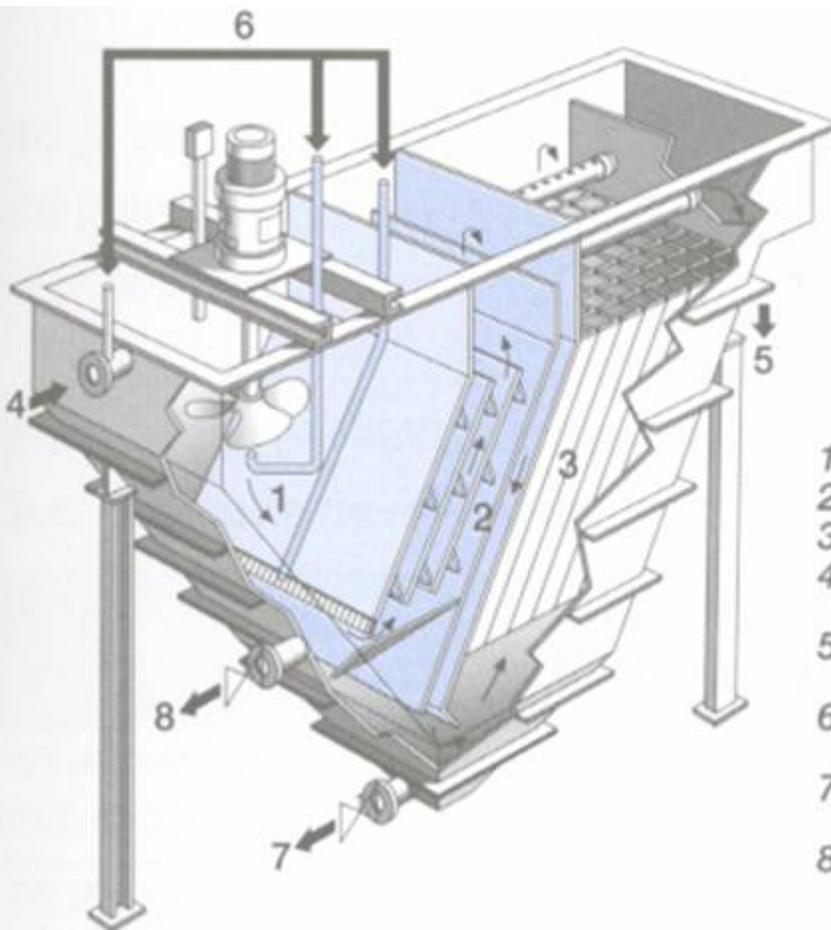
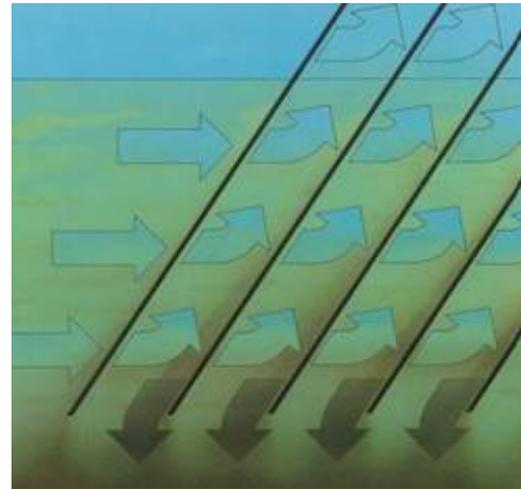
Característica	Valor
Diámetro (m)	3 - 30
Profundidad (m)	3 – 4,5
Pendiente suelo	
Rasquetas	1 : 12
Succión	1 : 10

Secundarios

SEDIMENTACIÓN

Decantador de placas y tubos

- Conjunto de placas o tubos colocados paralelamente con una cierta inclinación (45-60° → autolimpiable).
- Disminuir la distancia que recorre la partícula:
 - Disminuir el tiempo de retención.
 - Disminuir el tamaño del tanque.
- Problemas de atascos.

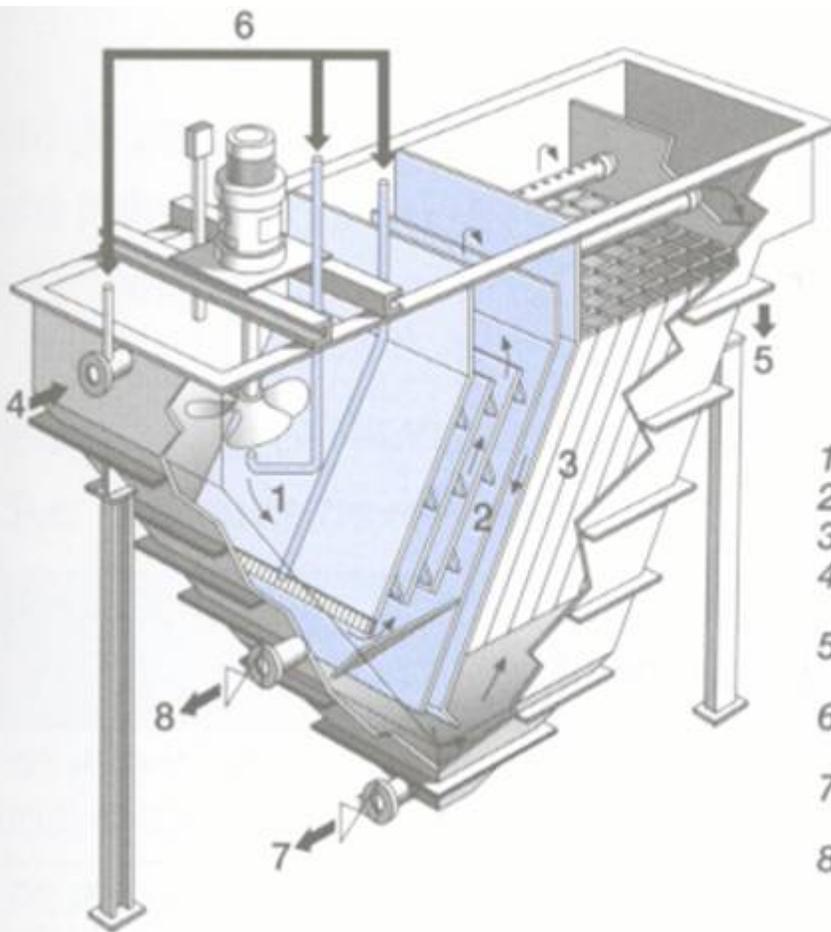
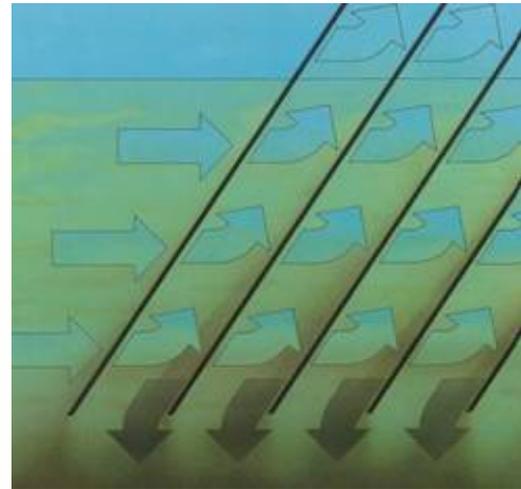


1. Mezclador
2. Floculador
3. Decantador
4. Entrada de agua bruta
5. Salida agua decantada
6. Dosificación de reactivos
7. Extracción de fangos
8. Purga

SEDIMENTACIÓN

Decantador de placas y tubos

- Conjunto de placas o tubos colocados paralelamente con una cierta inclinación (45-60° → autolimpiable).
- Disminuir la distancia que recorre la partícula:
 - Disminuir el tiempo de retención.
 - Disminuir el tamaño del tanque.
- Problemas de atascos.

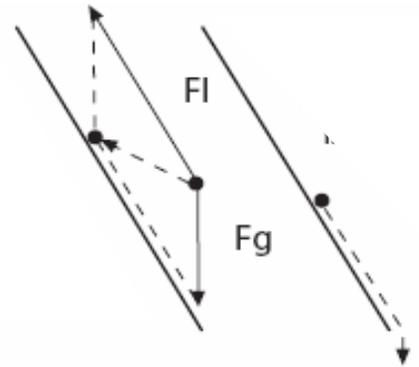


1. Mezclador
2. Floculador
3. Decantador
4. Entrada de agua bruta
5. Salida agua decantada
6. Dosificación de reactivos
7. Extracción de fangos
8. Purga

SEDIMENTACIÓN

Decantador de placas y tubos

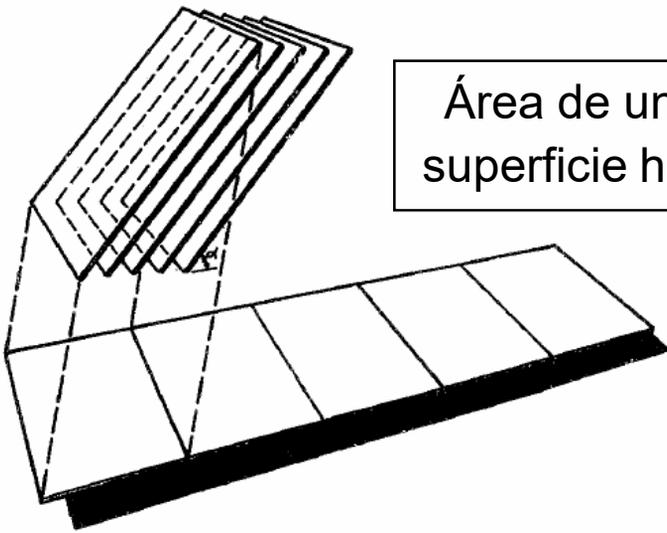
- Principio de funcionamiento:
 - Las partículas se dirigen hacia las placas según la resultante de 2 fuerzas:
 - Fuerza de arrastre (F_I)
 - Fuerza de la gravedad (F_g)
 - Una vez sobre la placa, las partículas deslizan hacia la zona de espesamiento
 - Se reduce enormemente la distancia que debe recorrer una partícula para sedimentar
- Los 2 objetivos básicos en estos decantadores:
 - Efluente líquido clarificado (superficie)
 - Máxima densidad del fango espesado (fondo)
- El decantador de placas maximiza el área disponible de sedimentación para una superficie en planta dada, utilizando un conjunto de placas inclinadas.



SEDIMENTACIÓN

Decantador de placas y tubos

- Principal parámetro de diseño → **área efectiva de sedimentación:**

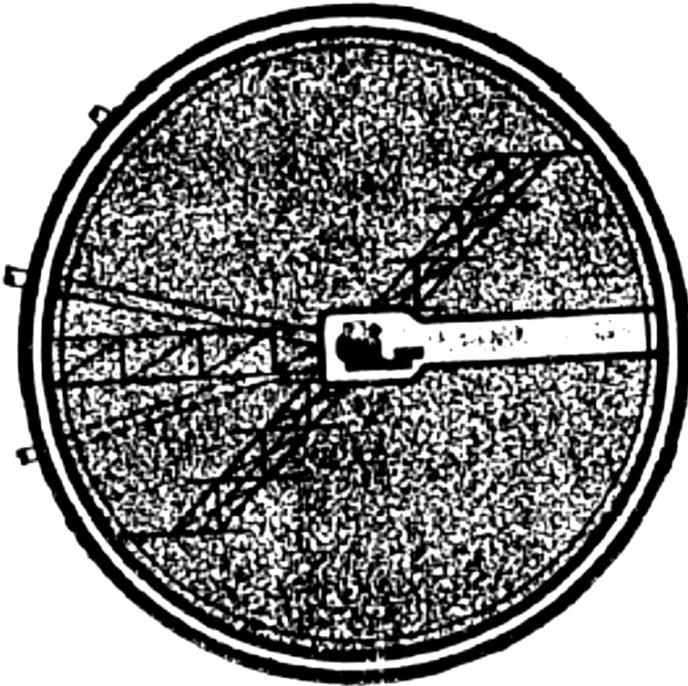


Área de una placa proyectada sobre una superficie horizontal x el número de placas

- Ventaja (frente al decantador convencional):
 - proporciona misma área efectiva de sedimentación
 - pero ocupa mucha menos superficie en planta

SEDIMENTACIÓN

Decantador de placas y tubos

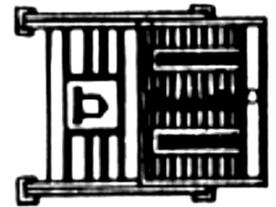


Comparación a escala:

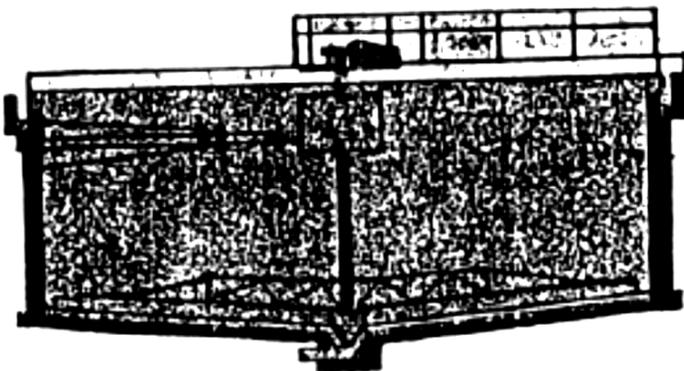
Decantador convencional

vs

Decantador lamelar



Vista en Planta



Perfil



SEDIMENTACIÓN

Espesadores por gravedad

- Clases de espesadores:
 - Por **Gravedad**:
 - Fangos primarios
 - Mezcla de primarios y secundarios.
 - Por **Flotación**:
 - Fangos secundarios
- **Criterios de diseño** ~ Decantador secundario.
 - Carga superficial → Sedimentación discreta
 - Carga de sólidos → Sedimentación zonal
 - Tiempo de retención a Q_{medio} : ($\theta_h = 12-24$ h).
 - Calado de agua en el borde del decantador:
 $h = 2.5 - 4$ m.



Característica	Valor
Diámetro (m)	< 24
Profundidad (m)	2,5 – 4
Pendiente suelo	
Rasquetas	2 : 12 – 3 : 13
Succión	1 : 10

SEDIMENTACIÓN

Espesadores por gravedad

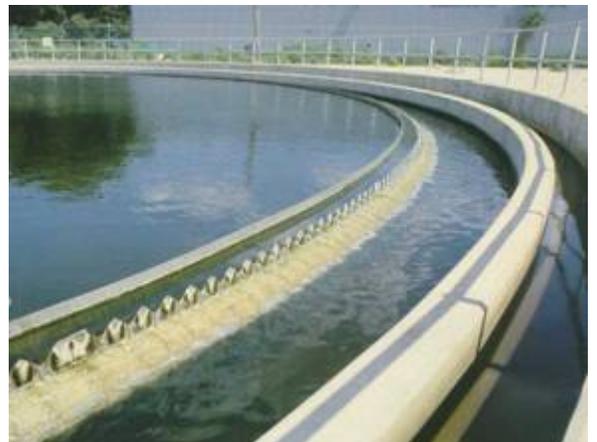
- Los espesadores por gravedad siempre están cubiertos porque el fango permanece bastantes horas en condiciones anaerobias.



SEDIMENTACIÓN

A tener en cuenta

- **Tamaño del tanque:**
 - No muy grandes (< 30 m) → Acción del viento (provoca carga desigual sobre el vertedero de salida → arrastre de sólidos → altas [SS] en el efluente)
 - Secundario $>$ Primario
- **Variación del caudal:**
 - Muy sensibles a las variaciones (dec. circulares)
 - Plantas pequeñas con grandes variaciones horarias → conviene sobredimensionar.
- **Diseño de la entrada:**
 - Minimizar la turbulencia y velocidad lo más baja posible → Deflectores
- **Diseño de la salida:**
 - Velocidad baja para evitar el arrastre de sólidos → Vertederos (canales que guían la salida)



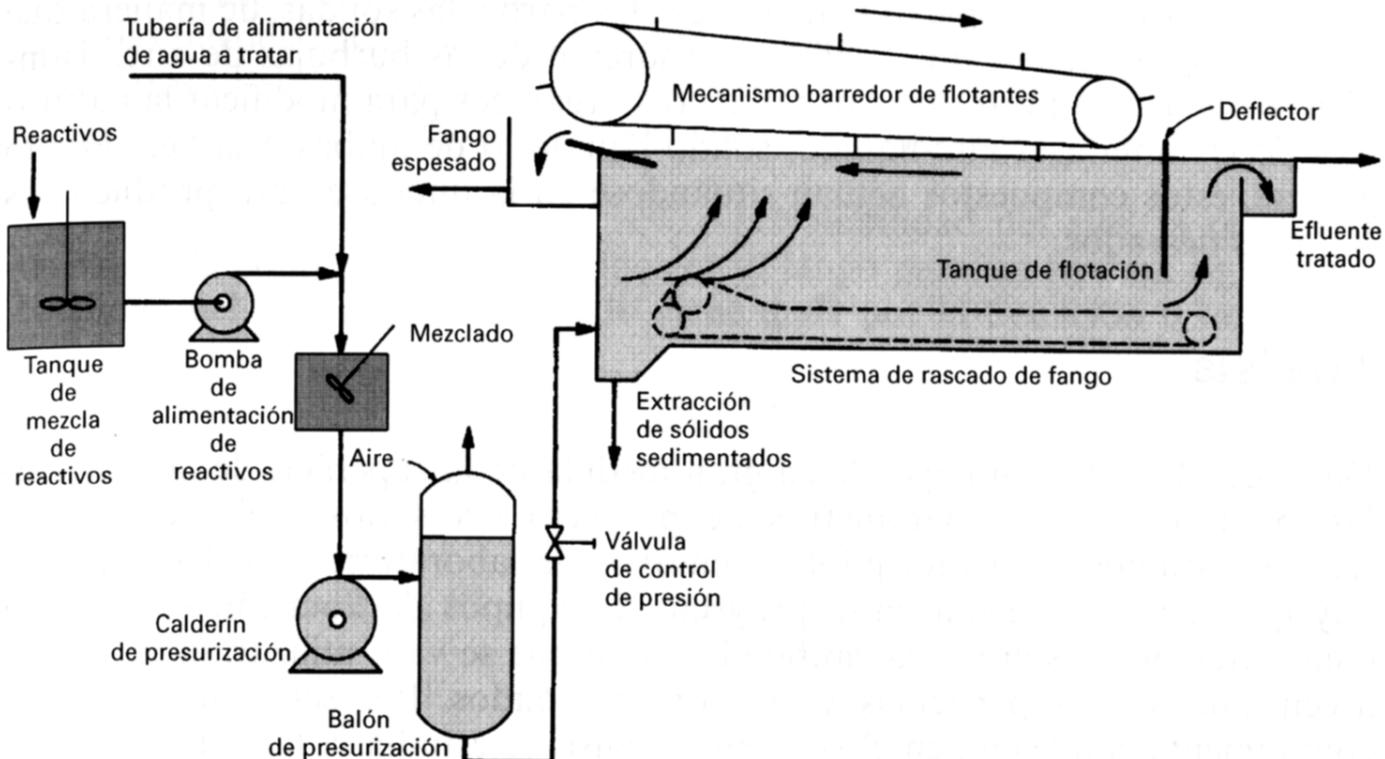
SEDIMENTACIÓN

A tener en cuenta

- **Profundidad:**
 - Suficiente para evitar arrastre de sólidos en salida → A mayor diámetro mayor profundidad
 - Decantadores poco profundos (<2.5m) → más susceptibles a las puntas de sólidos (el manto de fangos alcanza fácilmente el vertedero de salida → se escapan sólidos con el efluente)
- **Cantidad de fango extraído:**
 - Caudal de fango depende de la concentración:
 - Primario: 1.5 - 3% → 15000 - 30000 mg/l
 - Secundario: 0.5 - 1% → 5000 - 10000 mg/l

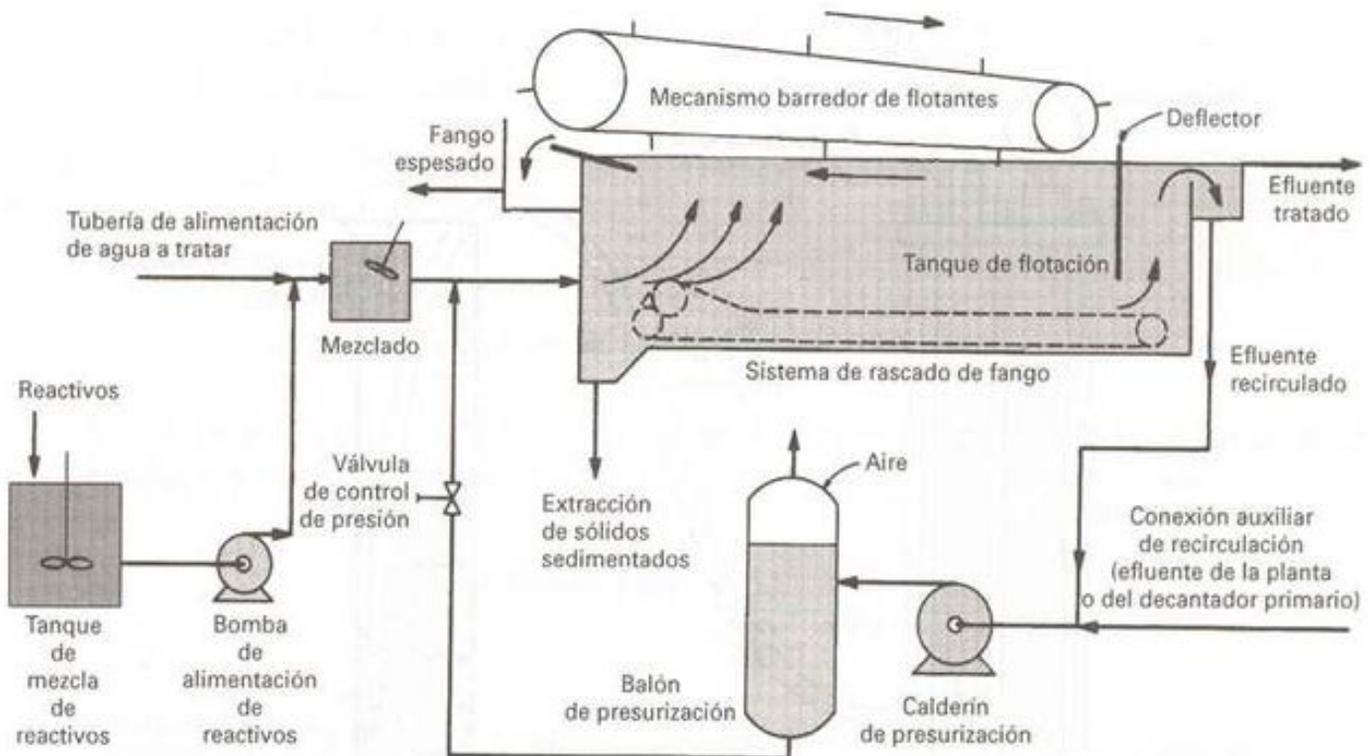
FLOTACIÓN

- **Objetivo:** Hacer flotar en el líquido partículas o líquidos ligeros (grasas, aceites) y sólidos suspendidos (espesado de fangos)
- **Mecanismo de operación flotador de fangos:**
 - Poner en contacto aire con agua
 - Aumento de la presión (2-4 atm)
 - Formación de gran cantidad de diminutas burbujas, al disminuir la presión, que se adhieren a las partículas → ↓ su densidad media.
- **Esquemas de operación:**
 - Con ó sin recirculación



FLOTACIÓN

- **Objetivo:** Hacer flotar en el líquido partículas o líquidos ligeros (grasas, aceites) y sólidos suspendidos (espesado de fangos)
- **Mecanismo de operación flotador de fangos:**
 - Poner en contacto aire con agua
 - Aumento de la presión (2-4 atm)
 - Formación de gran cantidad de diminutas burbujas al disminuir la presión que se adhieren a las partículas → ↓ su densidad media.
- **Esquemas de operación:**
 - Con ó sin recirculación



AIREACIÓN

- **Aplicación:**
 - **Procesos biológicos aerobios:**
 - Aportar oxígeno
 - Mantener agitado el interior del tanque.
 - **Desarenadores aireados:** Eliminar la M.O. adherida en arenas y gravas.
 - **Flotación:** Eliminar las grasas y una forma de espesar los fangos.
 - **Tanques de homogeneización:** Evitar que entren en condiciones anaerobias causantes de malos olores.
 - **Preaireación:** Eliminar sustancias volátiles
 - **Oxidación de Fe y Mn:** Conseguir que precipiten.

AIREACIÓN

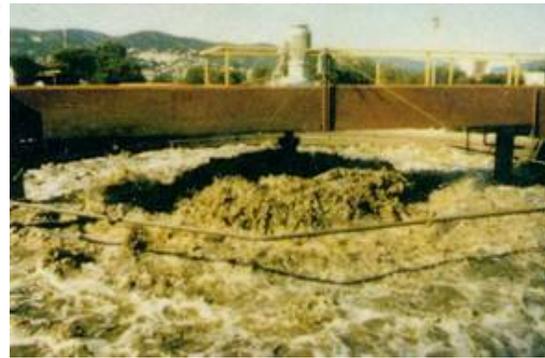
- **Equipos de aireación:**

- Objetivo: Aumentar la superficie de contacto aire-agua.

- **Clasificación:**

- Aireadores superficiales:

- De eje vertical.
- De eje horizontal.

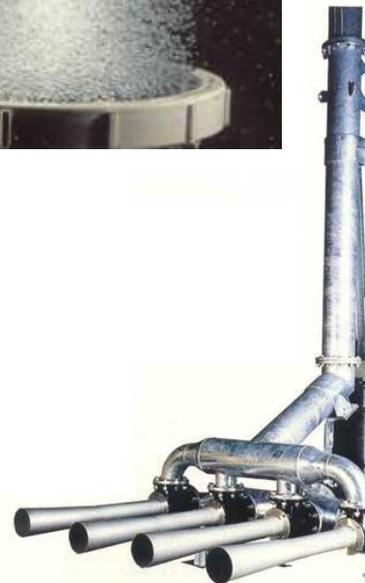


- Difusores:

- De burbuja fina.
- De burbuja gruesa.



- Aireadores especiales: Venturis



AIREACIÓN

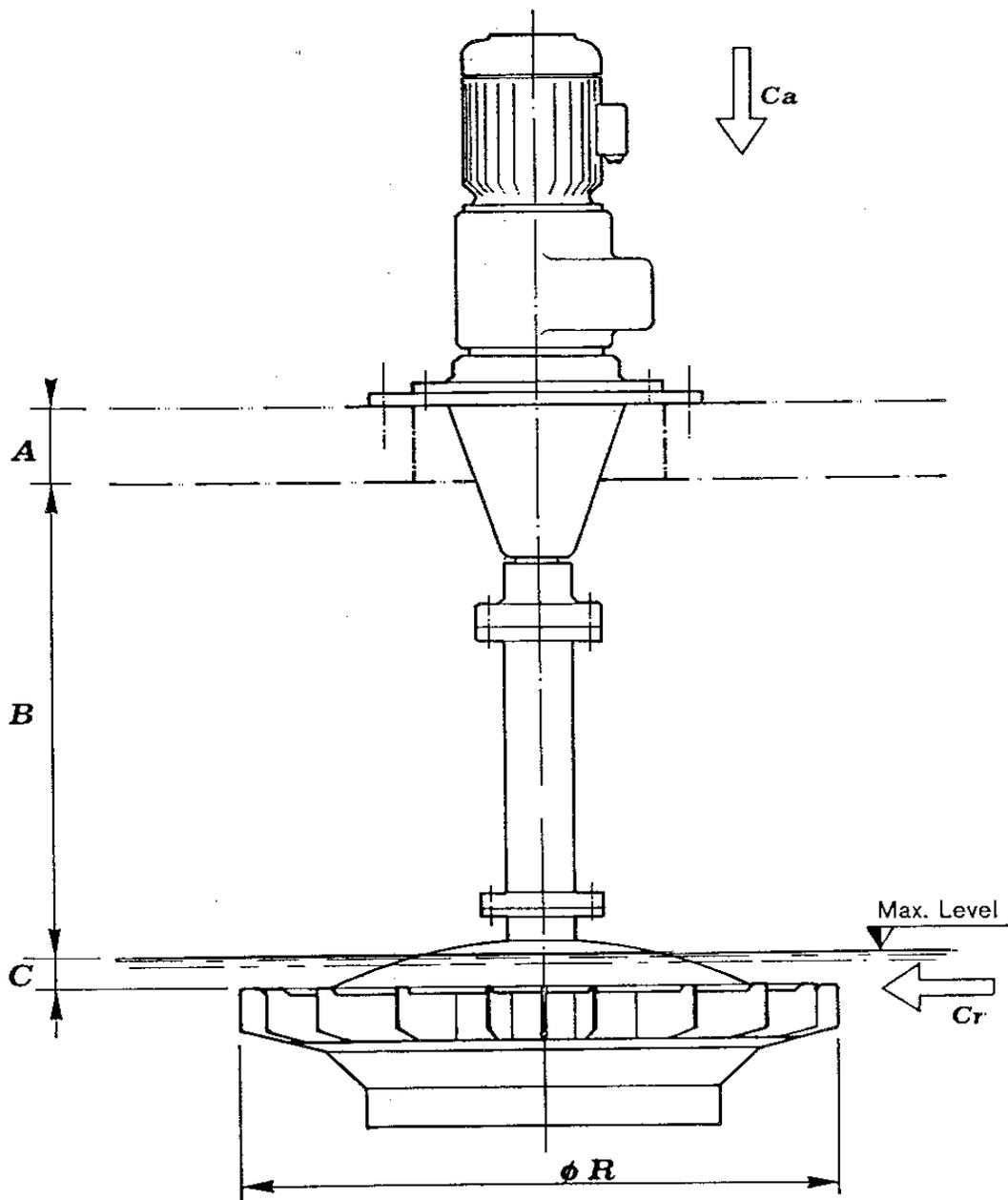
Aireadores Superficiales

- **Lanzan el agua** en forma de **gotas al aire** a la vez que se **producen vórtices** que permiten que porciones de aire entren en el agua.
- **De eje vertical** (Turbinas):
 - Rotor (más o menos sumergido) unido a un motor eléctrico mediante un reductor de velocidades.
- **De eje horizontal:**
 - Sistemas KESSENER: Consta de un eje horizontal en el que se insertan una serie de pequeñas palas (Airea + Avance líquido).
 - Discos ORBAL: Patente norteamericana.

AIREACIÓN

Aireadores Superficiales

- **De eje vertical (Turbinas):**
 - De flujo axial (alta velocidad).



AIREACIÓN

Aireadores Superficiales

- **De eje vertical (Turbinas):**
 - De flujo axial (alta velocidad).

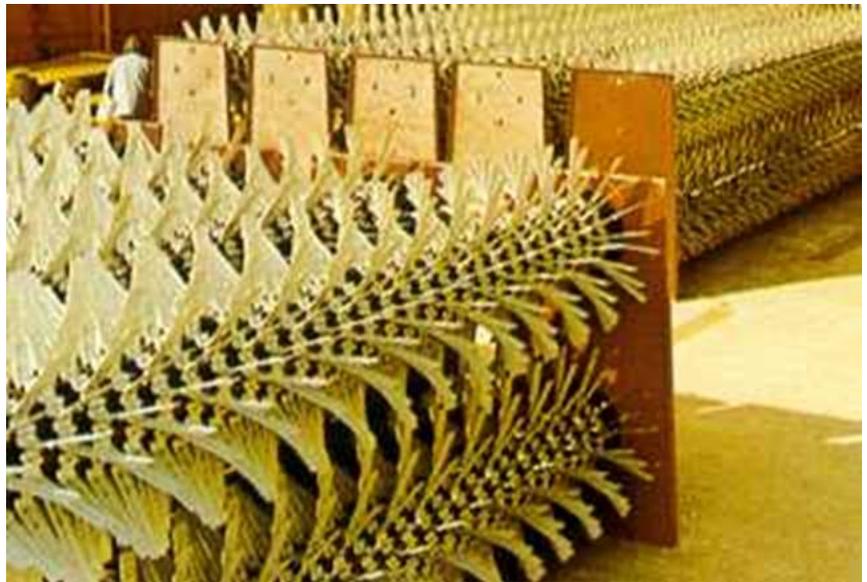


AIREACIÓN

Aireadores Superficiales

- **De eje horizontal (Turbinas):**

- KESSENER → Proyecta agua hacia adelante y crea una depresión en la zona trasera (Airea+Avance líquido).



- ORBAL



AIREACIÓN

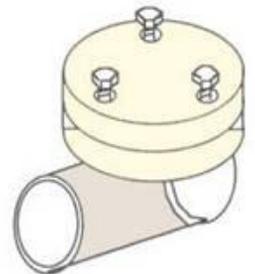
Aireadores Superficiales

- **Mantenimiento:** Fácil y económico
- **Peor control de la oxigenación** incluso con variadores de velocidad.
- Su **eficiencia** en la transferencia de oxígeno está afectada seriamente por la aparición de espumas.
- Provocan una elevada turbulencia superficial lo que puede originar **espumas y aerosoles**.
- Las **pérdidas de calor** durante la temporada fría pueden ser muy **importantes**.
- Frecuente formación de hielos durante el invierno debido a las salpicaduras.

AIREACIÓN

Difusores

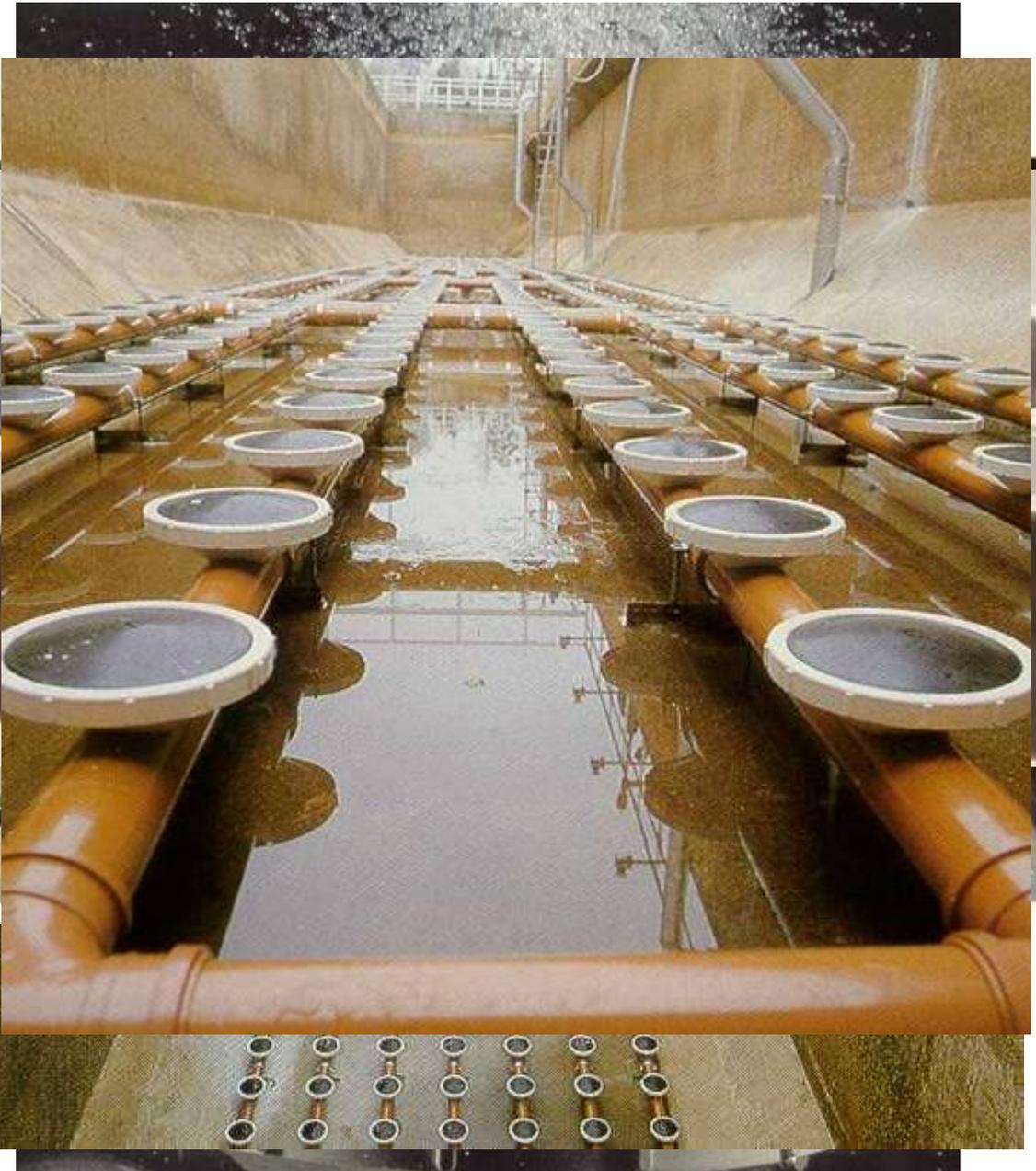
- **Introducen el aire en el agua en forma de burbujas. Al ascender se produce la transferencia de oxígeno.**
- **De Burbuja Fina:**
 - Mayor eficacia.
 - Problemas de atascos.
 - Mayores pérdidas de carga.
 - Clasificación según el material utilizado:
 - De cubierta textil
 - Cerámicos
 - De membrana elástica
- **De Burbuja Gruesa (toberas):**
 - Menor eficacia en la transferencia.
 - No presentan problemas de atascos.
 - Menores pérdidas de carga.
 - Se utilizaban en tratamiento de fangos (digestión aerobia), en tanques de homogeneización y desarenadores.



AIREACIÓN

Difusores

- De Burbuja Fina



AIREACIÓN

Difusores

- **Conectados a soplantes:**
 - Se utiliza un único grupo de soplantes para airear todos los reactores biológicos.
 - Importante disponer de variadores de frecuencia para regular el caudal
 - La tubería principal se bifurca para abastecer a todas las parrillas



AIREACIÓN

Difusores vs Turbinas

- **Ventajas difusores:**
 - Mayor eficacia: a igual potencia consumida mayor oxígeno transferido.
 - Aumento de la temperatura del reactor
- **Inconvenientes difusores:**
 - Mantenimiento más caro
 - En ocasiones no se consigue la mezcla completa (necesario agitador).
- Actualmente en el tratamiento de **Fangos Activados no se tiende a utilizar turbinas** por la formación de **aerosoles**.

AIREACIÓN

- **Control de la concentración de oxígeno:**
 - Concentración de oxígeno afecta al rendimiento del proceso biológico.
 - Aireación supone entre un 30 y un 50% del consumo energético total de la EDAR.
 - Importante implantar sistemas de control de la aireación.
 - Características de los sistemas de control:
 - Instalación de válvulas motorizadas en cada parrilla de difusores.
 - Instalación de sondas de oxígeno en cada zona aerobia.
 - Instalación de variadores de frecuencia para regular el caudal de aire.
 - Seleccionar las consignas de oxígeno disuelto más adecuadas.
 - Optimizar el funcionamiento global del sistema procurando que las válvulas estén lo más abiertas posibles.

AIREACIÓN

- **Control de la concentración de oxígeno:**



Válvula motorizada

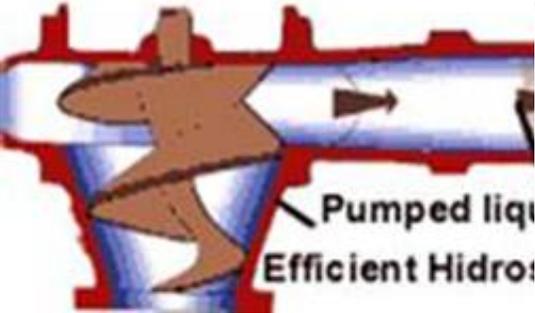


Variador de frecuencia

AIREACIÓN

Aireadores especiales: Venturis

- Basados en efecto Venturi → Aumento de velocidad → Disminución de Presión

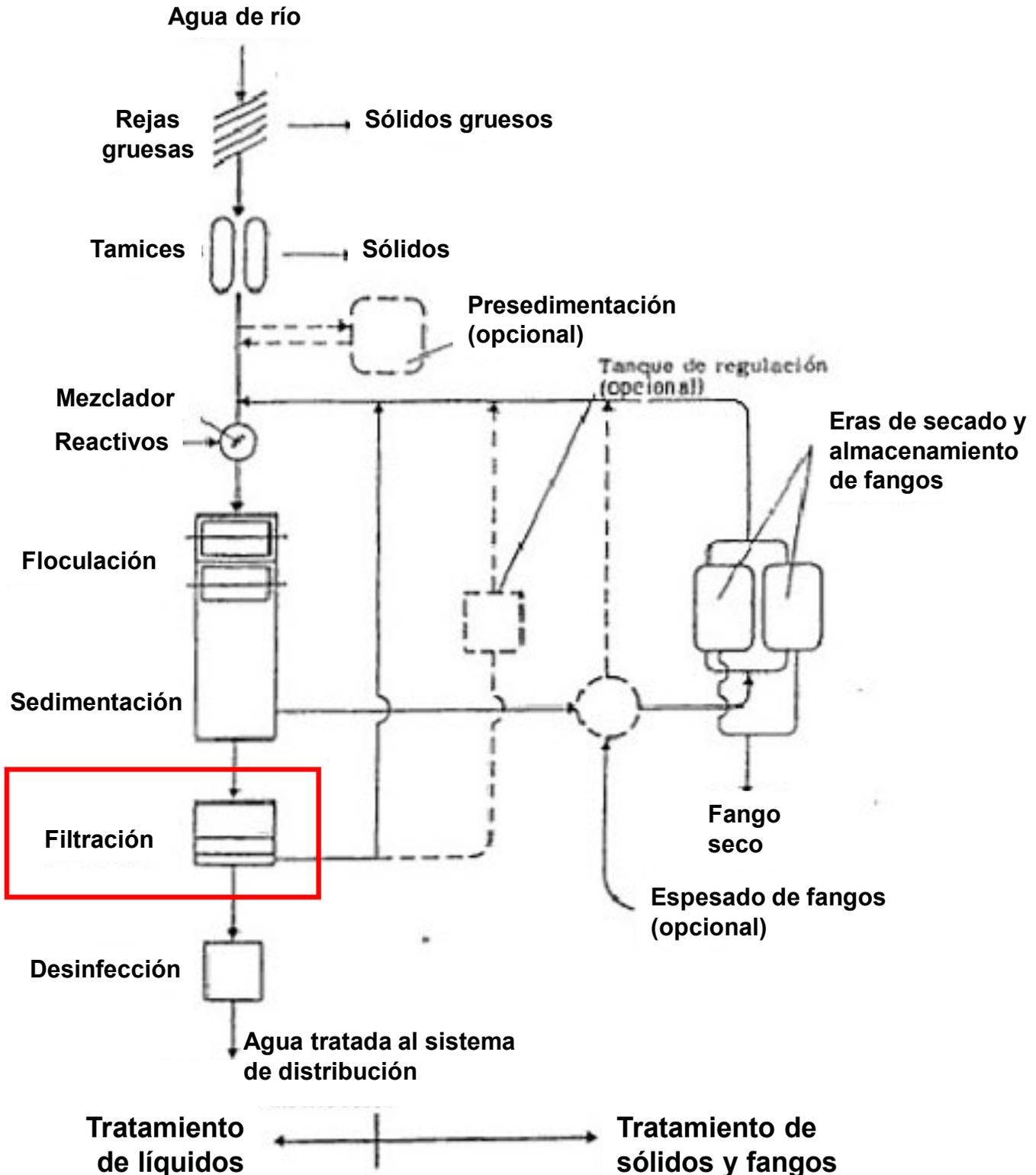


FILTRACIÓN

- **Objetivo: Separación** de partículas presentes en el agua debido a su **retención** en un **medio poroso**.
- Consiste en pasar el agua a través de un lecho de material granular (normalmente arena) **a baja velocidad**:
 - Las partículas son retenidas en la **superficie** ya lo largo de todo el **espesor** del lecho filtrante (material granular).
 - **Elimina partículas de muchos tamaños**: algas, coloides, fibras de asbesto, arcilla,...
 - Si el funcionamiento es adecuado → el agua filtrada es cristalina con turbidez ~ 0.1 NTU
- **Aplicación**:
 - **ETAP**: elimina los sólidos que se escapan tras el proceso de coagulación/floculación/sedimentación.
 - **EDAR**: Casi no se utiliza. Sólo en algunas EDAR que eliminan P en el tratamiento terciario.

FILTRACIÓN

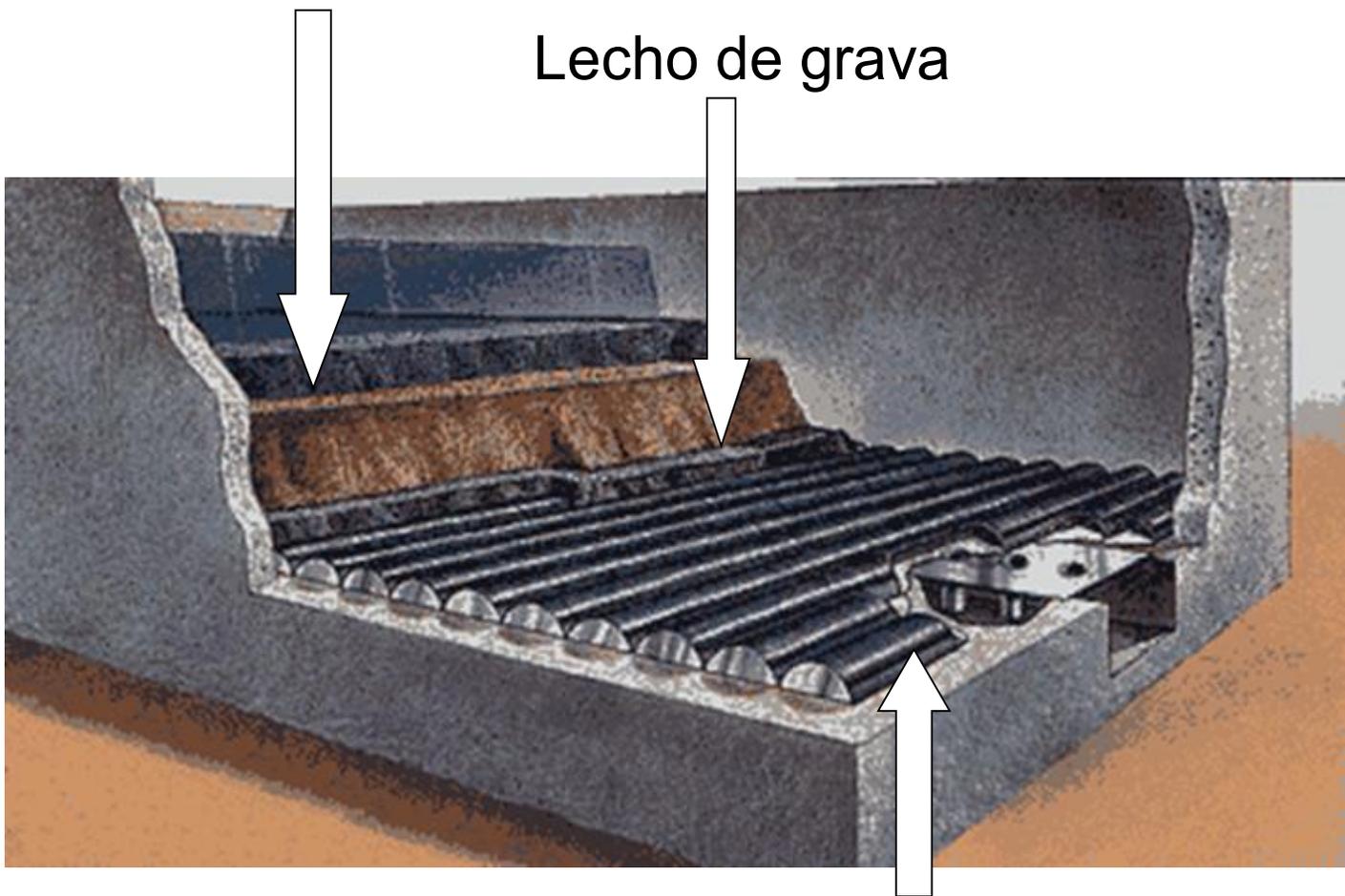
- **Aplicación en ETAP**



FILTRACIÓN

- **Elementos:**

Medio filtrante
(antracita y arena)



Sistema de drenaje

- Recogida uniforme del agua que atraviesa el filtro
- Distribución uniforme del agua de contralavado → para **limpieza uniforme** del material filtrante en todas partes del filtro

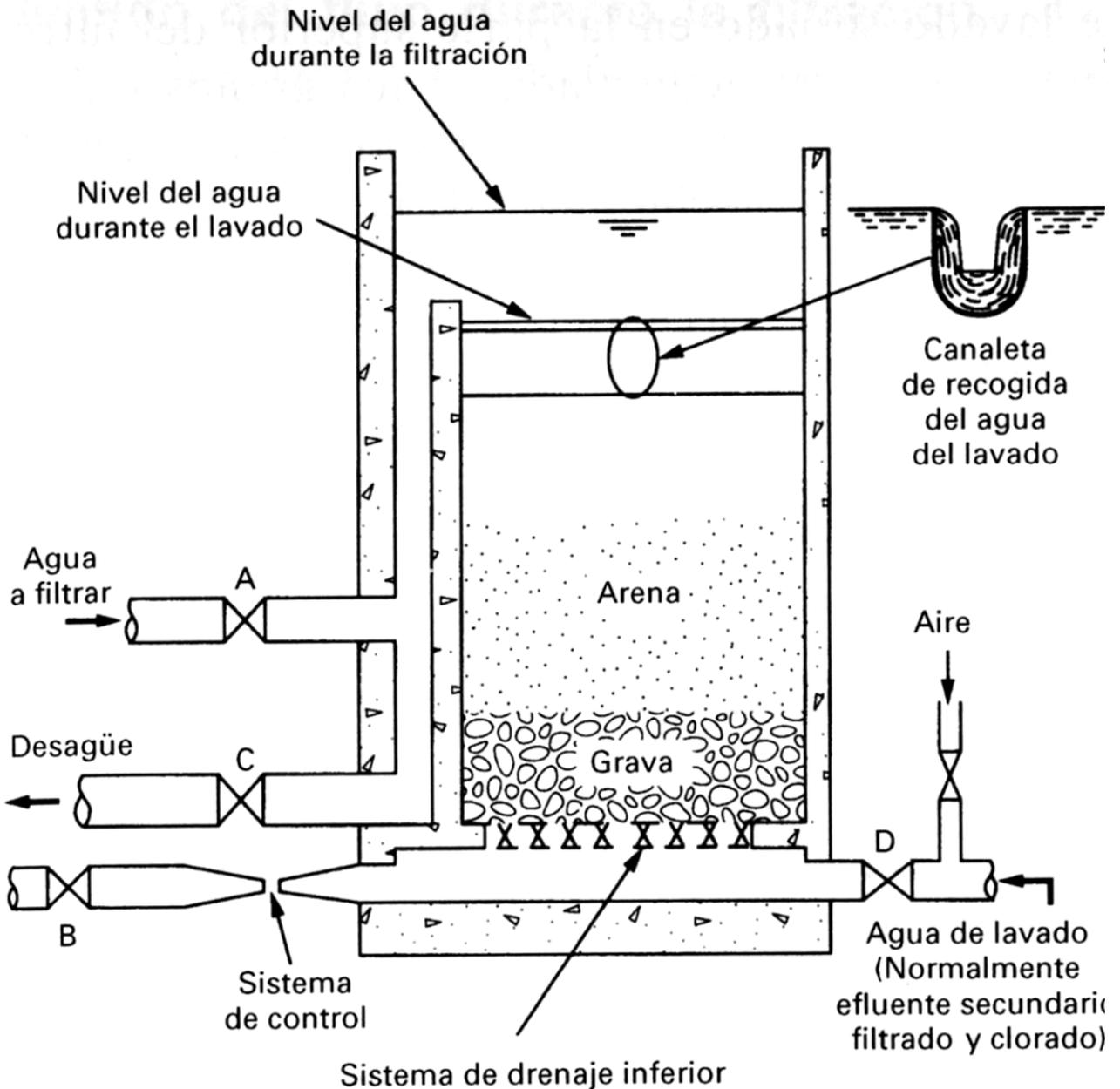
FILTRACIÓN

- **Elementos:**



FILTRACIÓN

- **Esquema filtro convencional:**

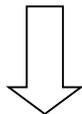


FILTRACIÓN

- **Operación:** Filtración + Lavado del lecho
- **Filtración:**
 - Se hace pasar el agua a tratar a través del lecho filtrante (material granular)
 - Las partículas quedan retenidas por la **acción de diversos mecanismos** (tamizado, sedimentación/impacto, intercepción, hidrodinámica)
 - **Factores:** tamaño de partícula, resistencia del flóculo, compactación, tamaño de poro y velocidad de paso.
- **Lavado del lecho** (~20 min):
 - El agua arrastra los sólidos retenidos y es llevada a cabeza de planta.
 - Proceso en contracorriente → fluidización (expansión) del lecho: ~ 25-30%
 - Se realiza cuando:
 - la **turbidez** o la concentración de sólidos es superior a un valor fijado.
 - la **pérdida de carga** es mayor que un valor fijado (~ 2 – 2.5 mca).
 - Cuando se alcanza un **tiempo prefijado** (~24 o 48 horas) → previene la compactación del material filtrante.

FILTRACIÓN

- **Aumentar el tiempo de filtración:**
 - ↑ tiempo con [sólidos] a la salida aceptable
 - ↑ tiempo para el que la pérdida de carga supera el valor máximo establecido
- **Disminuir sólidos a la salida:**
 - Medio filtrante más fino.
 - Aumentar la profundidad del lecho.
 - Aumentar la floculación.
 - Disminuir la velocidad.
- **Disminuir la pérdida de carga:**
 - Medio filtrante más grueso.
 - Disminuir la profundidad del lecho
 - Disminuir la floculación.
 - Disminuir la velocidad.

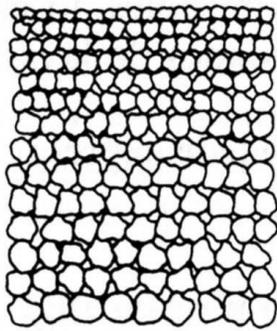


Aumento del área de filtración

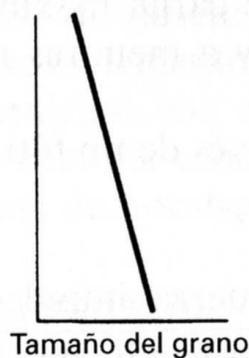
FILTRACIÓN

- **Estratificación del lecho filtrante tras el lavado**
 - Las partículas de mayor tamaño se sitúan en la parte inferior y las de menor tamaño en la parte superior.
 - Las partículas taponen los poros y aumenta la pérdida de carga.

Situación real

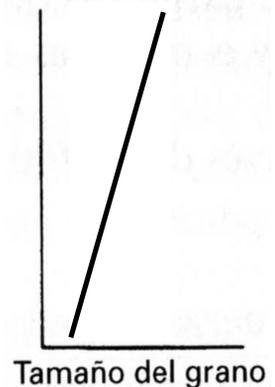
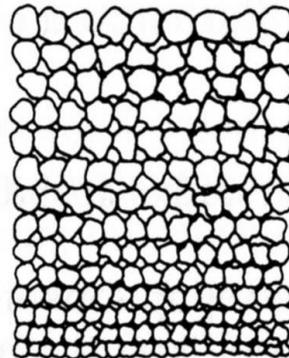


Sección transversal de un lecho de medio único



Tamaño del grano

Situación ideal



Tamaño del grano

- **Ventajas de la situación ideal**
 - Mayor capacidad de almacenamiento de sólidos en capa gruesa.
 - Mayor utilización de todo el volumen del filtro.
 - Mayor duración del ciclo de filtrado.

FILTRACIÓN

- **Filtración multimedia**

- Empleo de materiales diversos en la composición del lecho filtrante.
- Distribución de "grueso a fino".
- Abajo el material más denso y más pequeño.

- **Materiales: arena + antracita.**

Altura lecho

Antracita: 45 – 60 cm

Arena: 25 – 30 cm

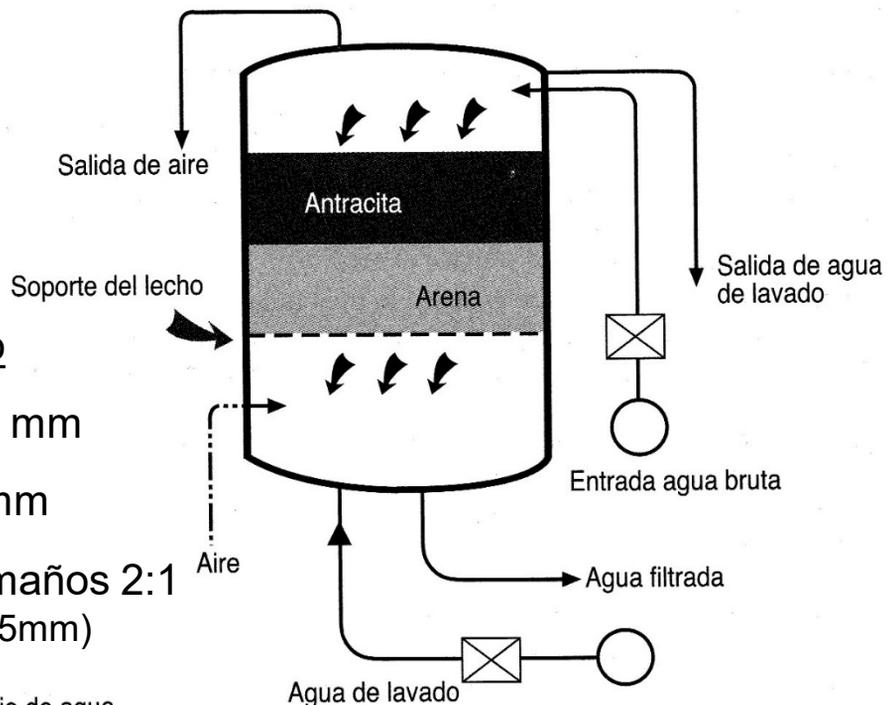
Tamaño partícula lecho

Antracita ($\gamma=1.65$): 0.8–1.5 mm

Arena ($\gamma=2.65$): 0.5–0.8 mm

Normalmente ratio de tamaños 2:1
(ej. antracita 1mm y arena 0.5mm)

↙ Flujo de agua



FILTRACIÓN

- **Tipos de filtros:**

- **Filtros lentos de arena:**

- Los primeros utilizados.
 - Fiables y simples de operar → requieren poca supervisión técnica.
 - Formación de una **capa biológicamente activa** en la superficie (*schmutzedecke*):
 - Eliminación de organismos patógenos y materia orgánica desagradable (por acción física y biológica).
 - La acción filtrante ocurre principalmente en la capa superficial
 - Limpieza cada 2 – 6 meses: cuando el filtro se atasca se elimina la capa superior de arena (~ 2 cm) y cuando se ha reducido el espesor a 0.4-0.5 m se añade arena nueva (hasta recuperar espesor original)
 - Tras limpieza → 1 semana hasta reestablecer la capa biológica.
 - Operan a velocidades de filtración bajas ~ 0.1-0.2 m/h → ocupan mucha superficie

FILTRACIÓN

- Características:
 - Area de cada filtro ~ 100 -200 m²
 - Tamaño de la arena ~ 0.15 – 0.35 mm
 - Espesor del lecho ~ 1 – 1.5 m
 - Espesor de la capa de grava ~ 0.3 -0.45 m
 - Agua influente aceptable < 20 NTU (aunque podría tolerar hasta 50 NTU durante 2-3 días)
- Potencial de mejora:
 - **Mejorar el pretratamiento** (ej., incluir previamente filtros rápidos permitiría operar el filtro lento con velocidades de hasta 0.5 m/h)
 - **Incluir capa de Carbon Activado Granular (GAC)** para reducir pesticidas y otros compuestos orgánicos a niveles tolerables.

Para tiempo de contacto (ECTB) de **20 min**,
operando a **0.6 m/h** se requiere
un espesor de **0.2 m** de CAG

FILTRACIÓN

- **Tipos de filtros:**

- **Filtros rápidos de arena.**

- El medio filtrante es de mayor tamaño (0.5-1mm), los SS penetran más a fondo.
 - Operan a velocidades de 6-8 m/h (12-15m/h con lecho multimedia) → requieren menor espacio que los lentos.
 - **Atención: $v \geq 20$ m/h** → ↑ significativo del número de partículas en el rango 2-10 μ m (Protozoos: *Cryptosporidium* y *Giardia*)
 - Limitación (medio simple): tras contralavado las partículas + finas del filtro se acumulan en la parte superior y las + gruesas en la inferior.
 - Se realiza coagulación química previa y lavado con agua y aire en contracorriente.
 - Con agua influente < 5 NTU → resultados excelentes y funcionamiento razonable con turbidez de 10 - 20 NTU.

FILTRACIÓN

- **Tipos de filtros:**

- Normalmente se utilizan filtros:
 - de gravedad con flujo descendente,
 - operados a caudal de filtración constante
 - con lecho multimedia soportado sobre grava con un sistema de drenaje.
 - con limpieza hidráulica: aire y agua
- Número de filtros → mínimo 4 → la velocidad de filtración se incrementa cuando 1 o 2 filtros están fuera de servicio o en modo contralavado → **Diseño:** considerar que 2 filtros no están operativos.
- Es necesario realizar ensayos en planta piloto, para determinar:
 - Medio/s filtrantes y espesores
 - Velocidad de filtración más adecuada y pérdida de carga
 - Duración esperada de ciclo
 - Efectos de adición de reactivos
 - Caudal de agua y duración de ciclo de lavado