

# Tema 3

## Tratamientos Físicos

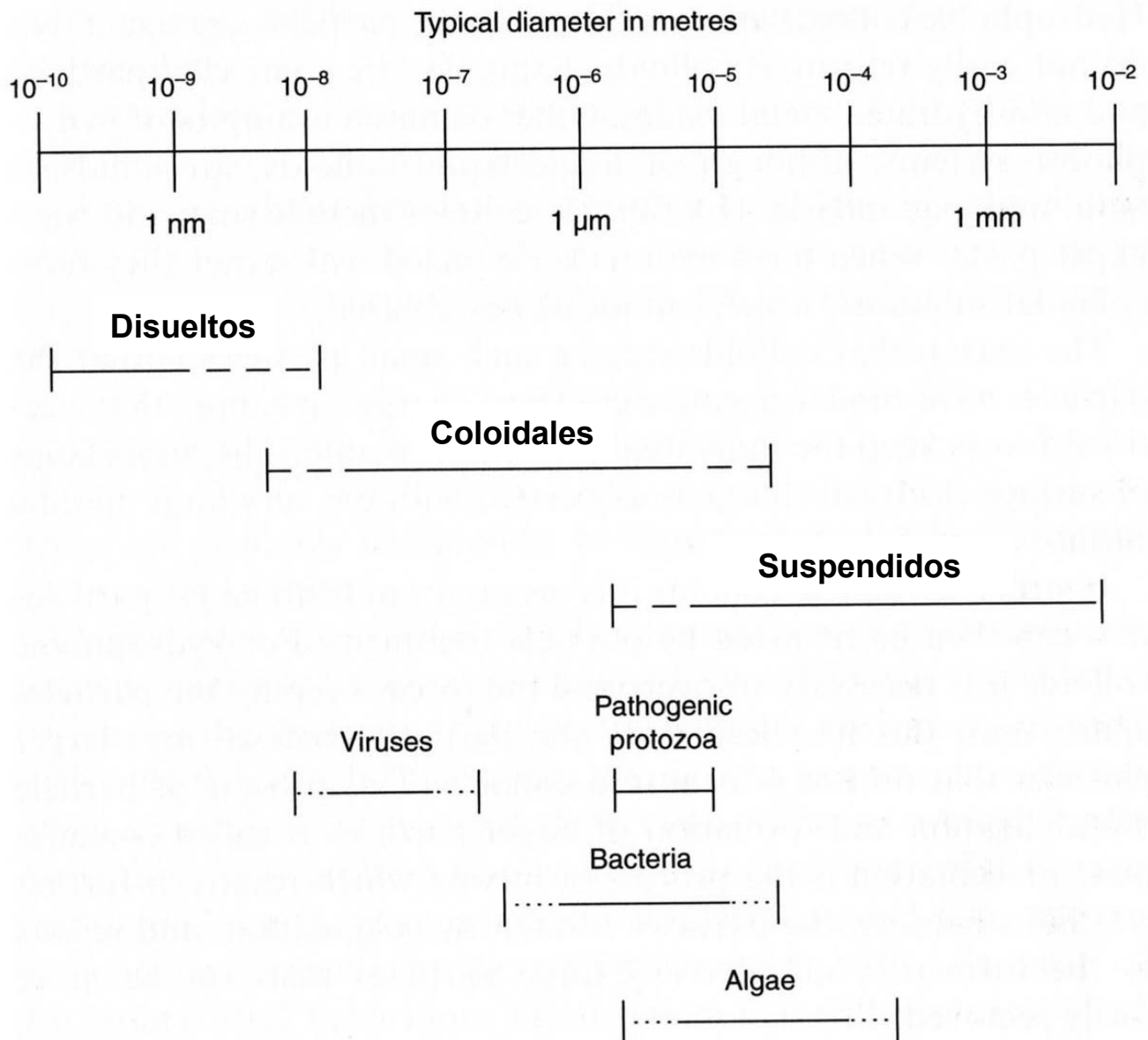
# ÍNDICE

---

- **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)

$\beta$  → factor de forma de la barra (rectangular = 2.42, circular 1.79,...)

$W$  → anchura total del canal (m)

$b$  → espacio libre entre barras (m)

$\theta$  → ángulo del enrejado con la horizontal (grados)

# Tamices

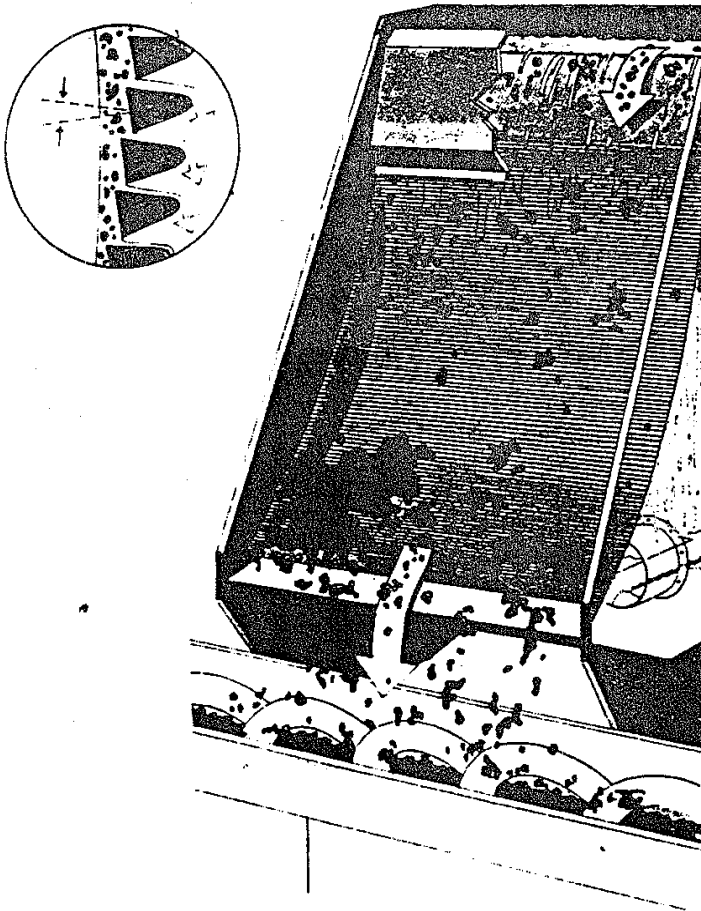
---

- 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.

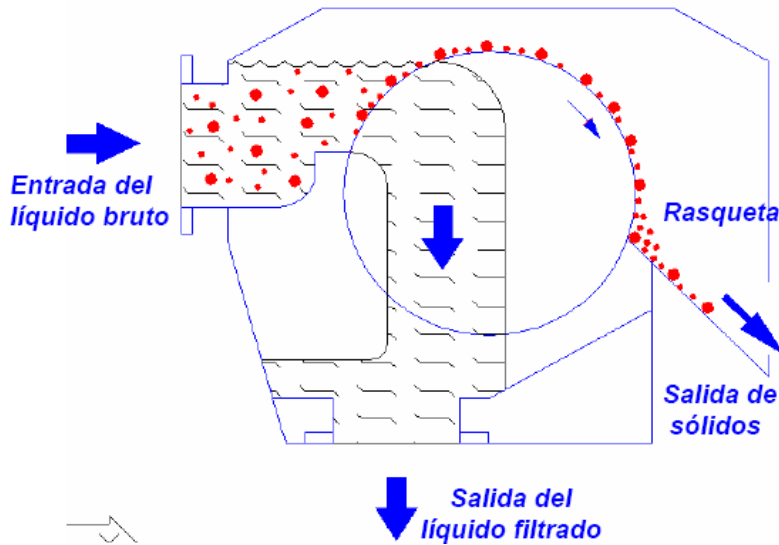


# Tamices

## 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



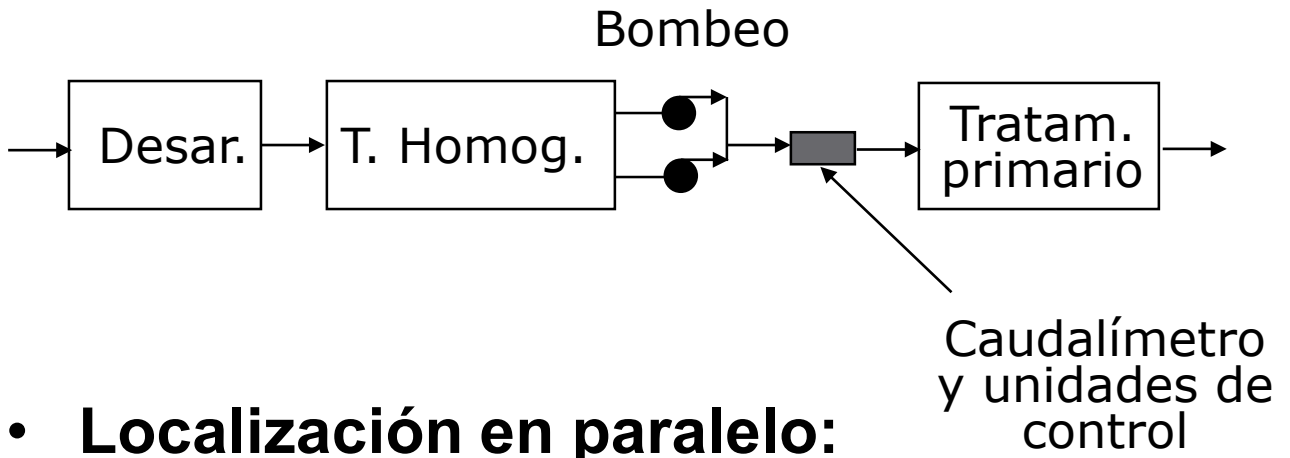
# HOMOGENEIZACIÓN

---

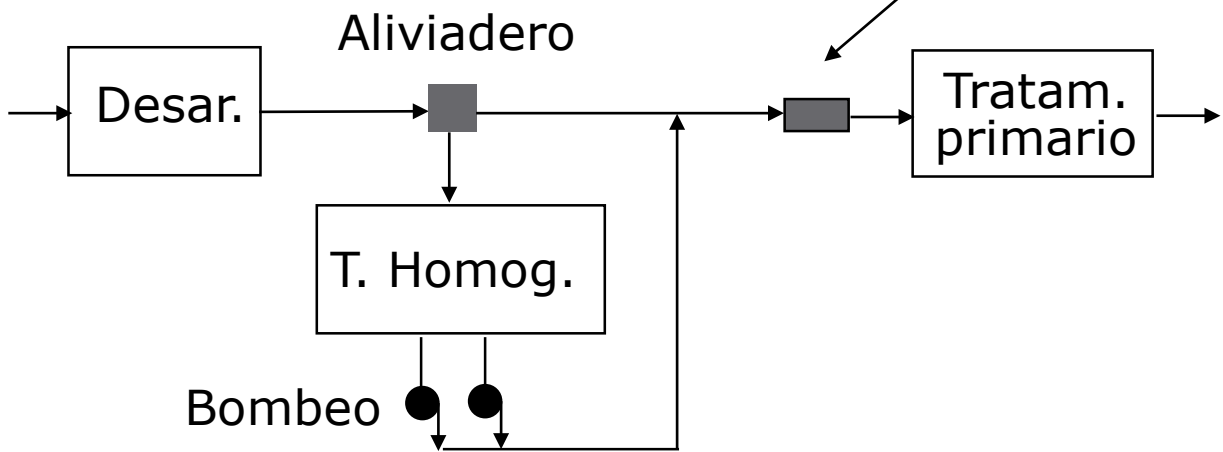
- **Objetivo:** Evitar los problemas originados por las variaciones de calidad y caudal de entrada a una EDAR.
- **Homogeneización** = Amortiguar las variaciones de caudal y calidad.
- **Localización** en la EDAR:
  - Entre el desarenador y el decantador primario
  - En serie:
    - Todo el caudal que 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

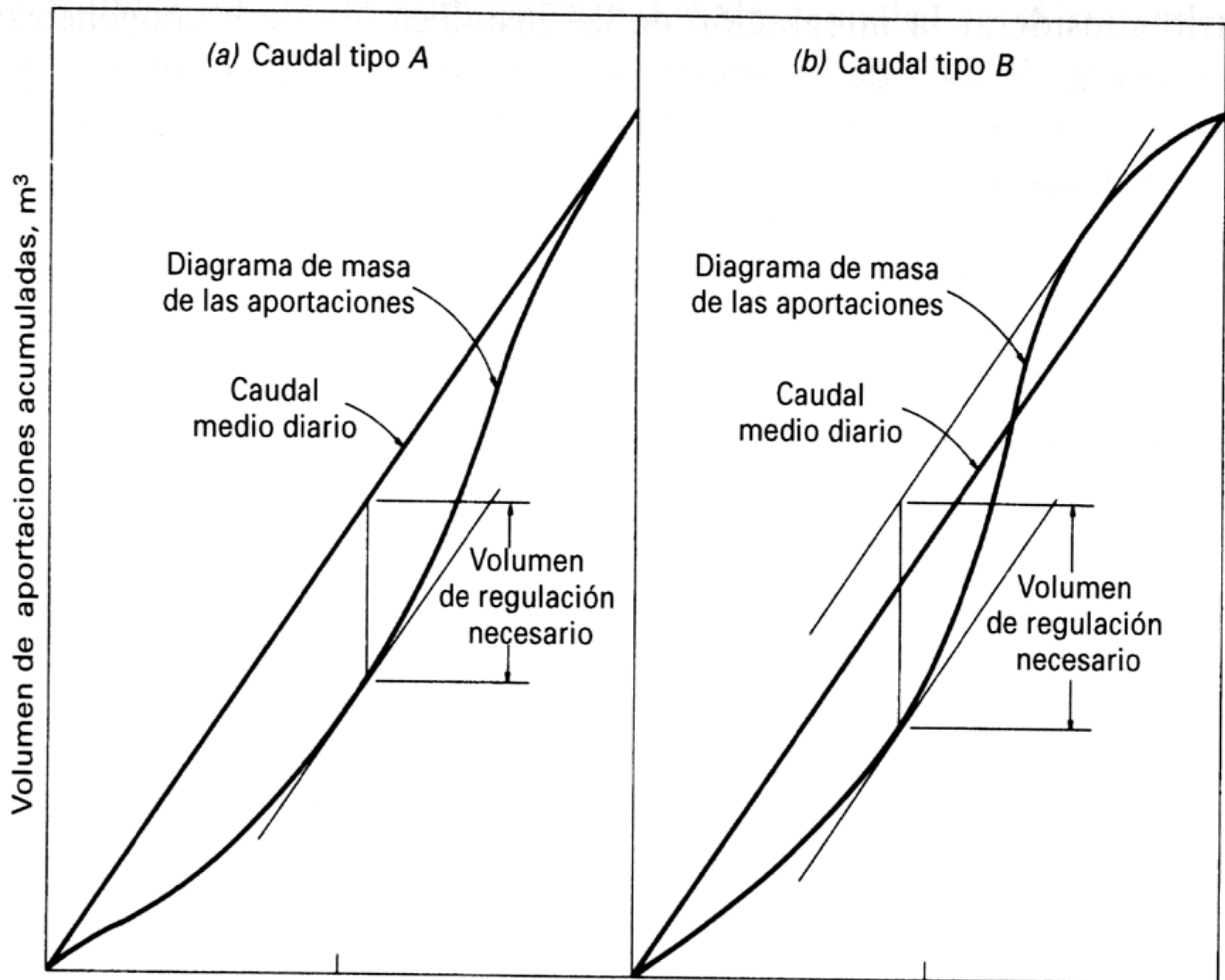
---

- **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

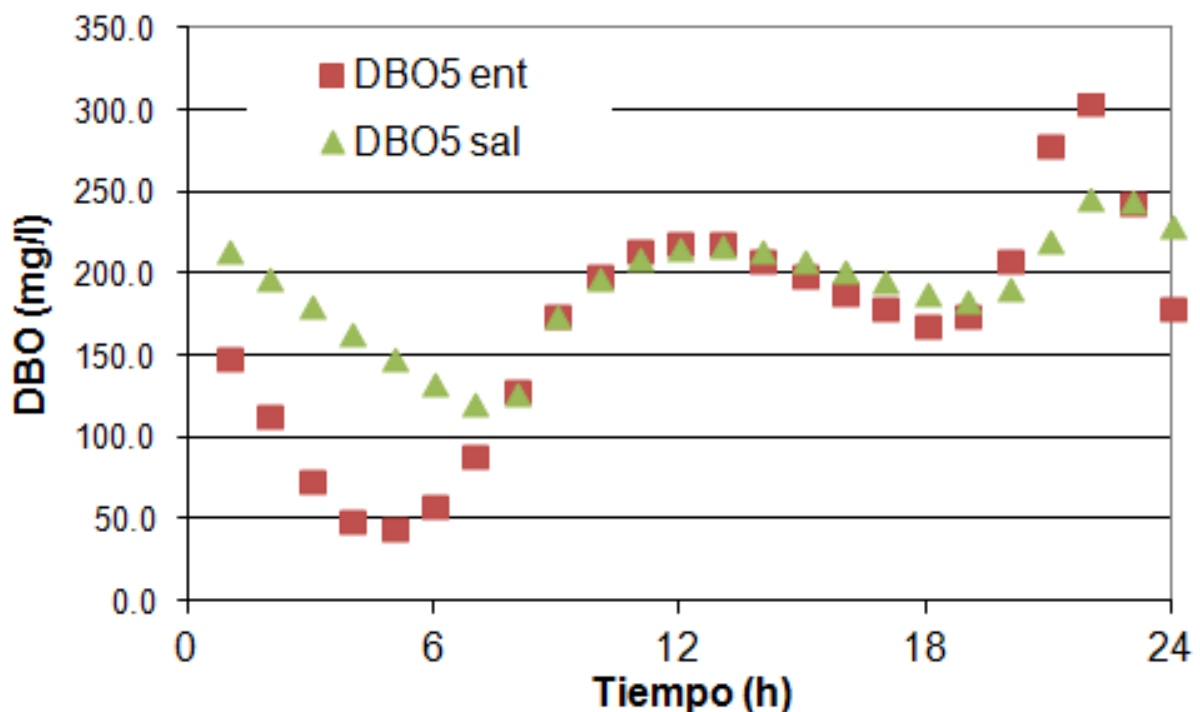
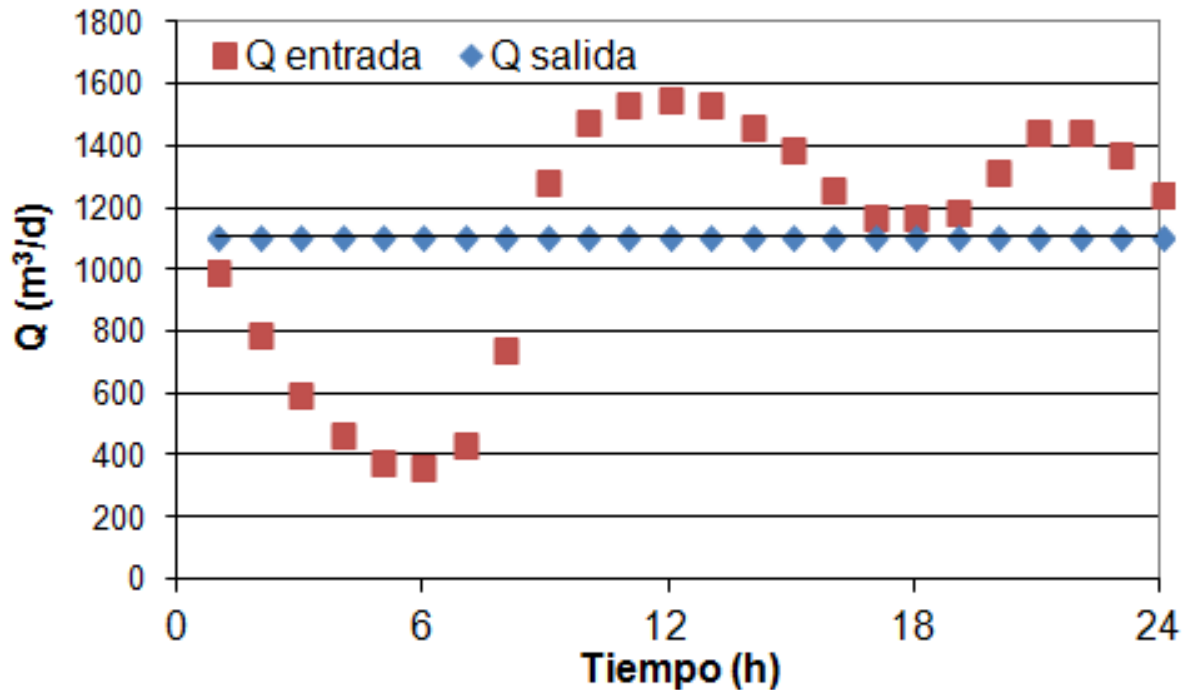
- **Diseño:** Determinación del volumen para 2 tipos de evolución de caudales



- **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:

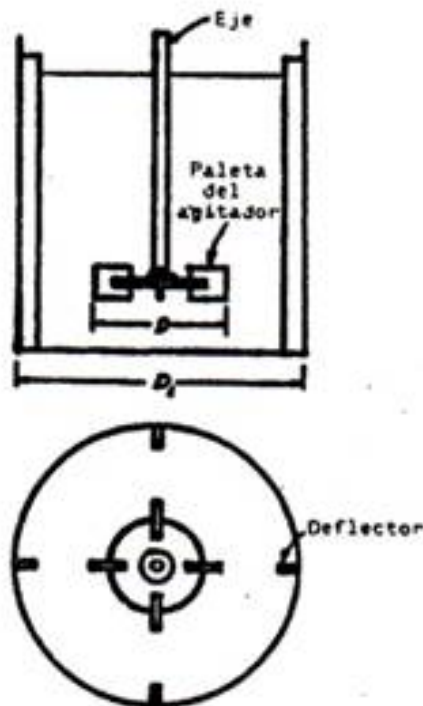
- Mezcla de reactivos: coagulante, desinfectante.
- Proceso de floculación: mezcla lenta para favorecer la formación de flóculos.

- EDAR:

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

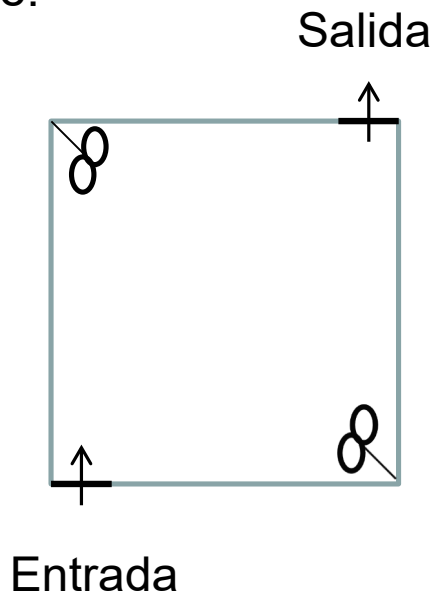
# MEZCLADO

- **¿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  $20 \text{ W/m}^3$  de tanque.

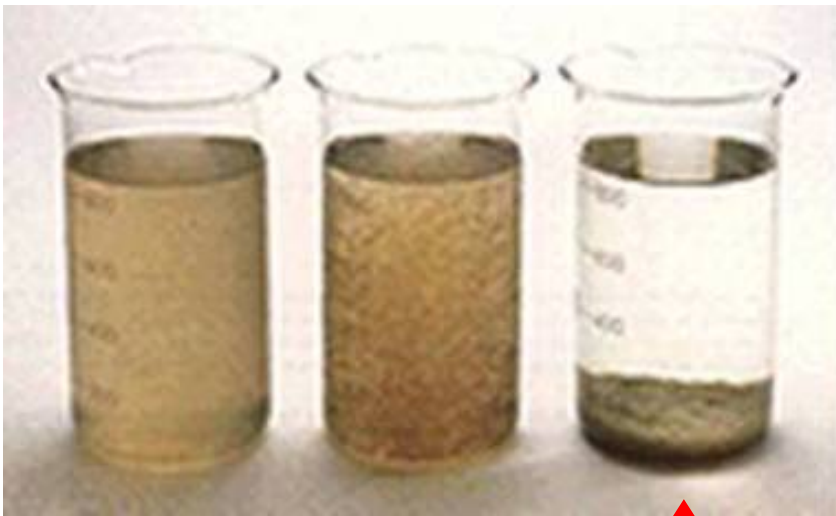


- **Digestión anaerobia:** Debido a la mayor concentración de sólidos suspendidos basta con una potencia de  $5 \text{ W/m}^3$  de tanque. Se usan agitadores aunque en muchas ocasiones se agita mediante recirculación de biogás o recirculación de fango

# SEDIMENTACIÓN

---

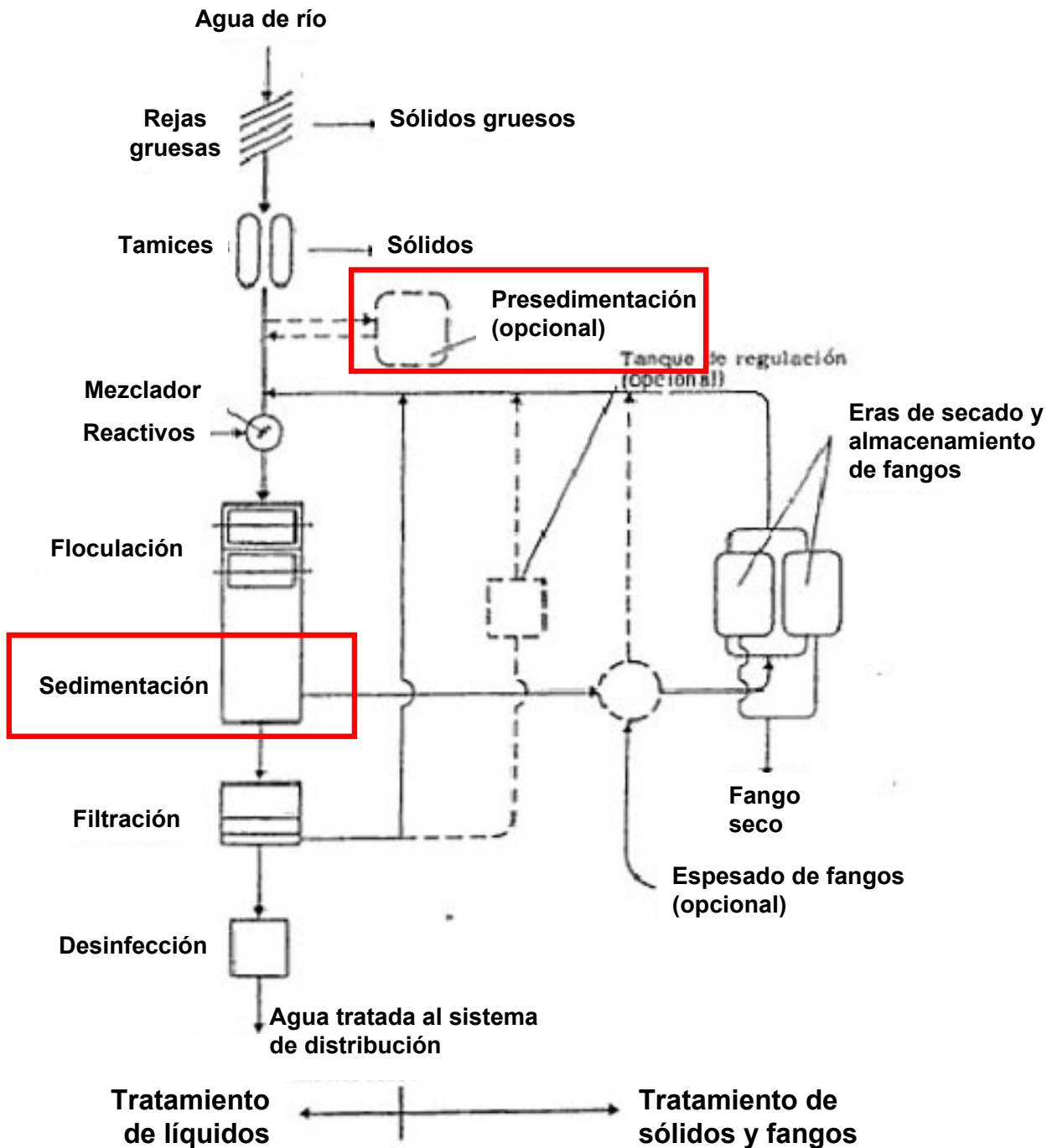
- **Operación física**
- Separación por **acción de la gravedad** de **partículas suspendidas** cuya **densidad** es mayor que la del líquido.
- **Sedimentación = Decantación**



# SEDIMENTACIÓN

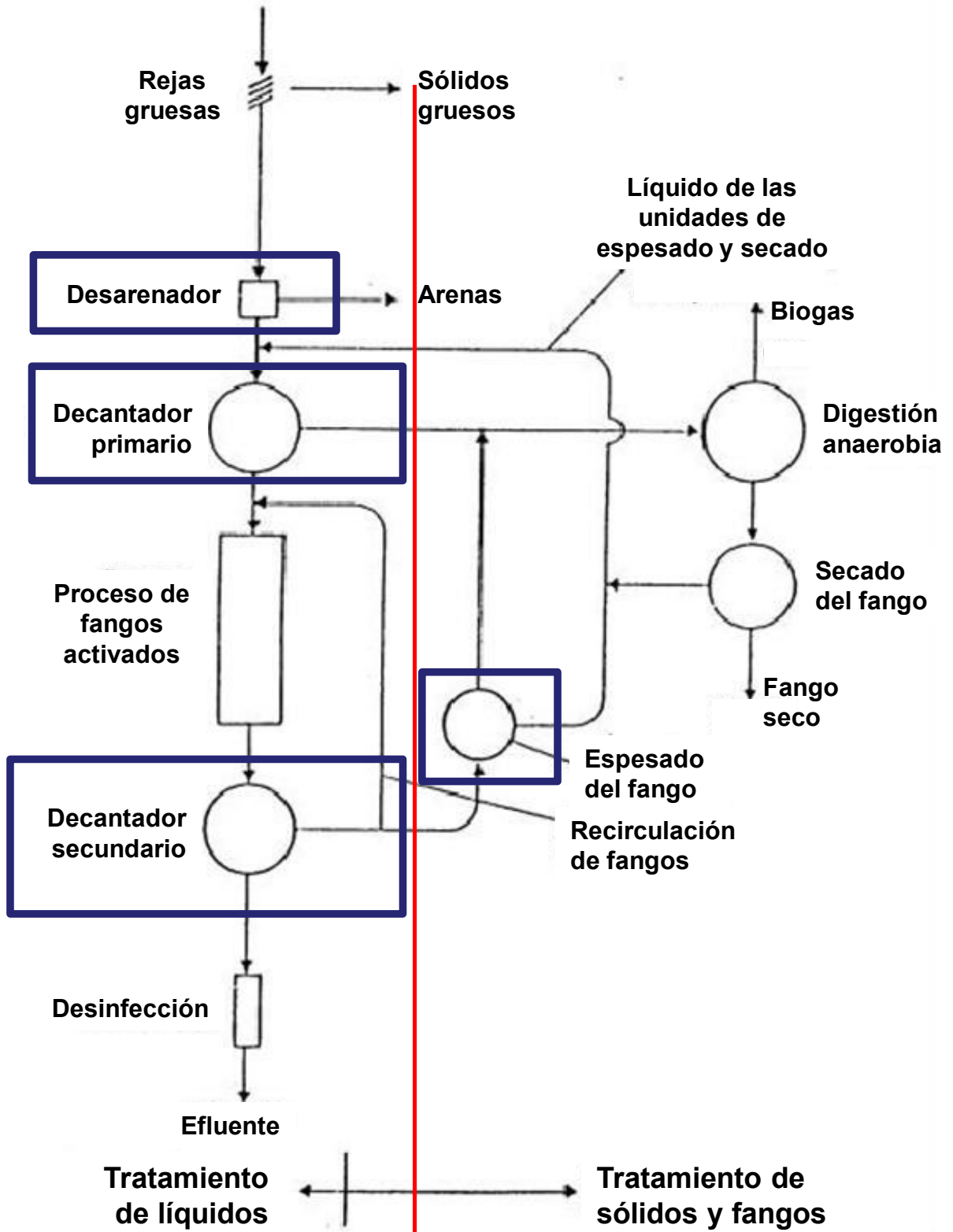
- **Aplicación en ETAP:**

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



# SEDIMENTACIÓN

- **Aplicación en EDAR:**





# SEDIMENTACIÓN

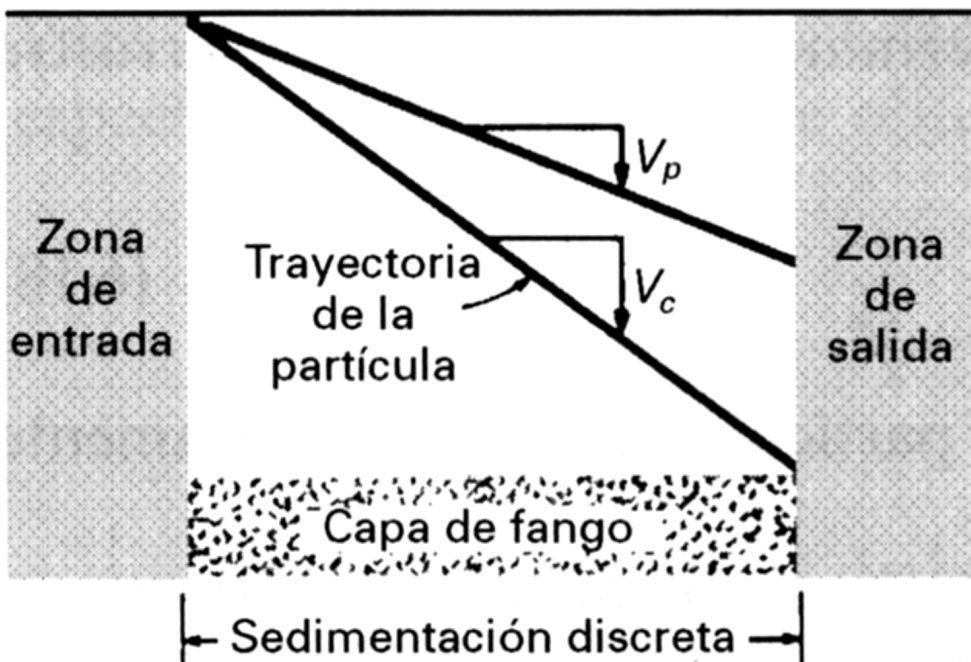
---

- **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: 

{	1.0 mm	~ 360 m/h
	0.4 mm	~ 151 m/h
	0.2 mm	~ 75.6 m/h

  
 $\gamma = 2.65$
- Flóculo de la coagulación/floculación ~ 3 m/h  
 $\gamma = 1.001$  (bien formado, tamaño ~ 2-4 mm)

# SEDIMENTACIÓN

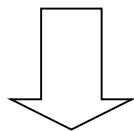
## Sedimentación discreta (Tipo I)

- **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

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

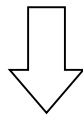


**En una EDAR la sedimentación discreta se produce en los DESARENADORES y las capas altas de DECANTADORES PRIMARIOS y SECUNDARIOS:**

# 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.



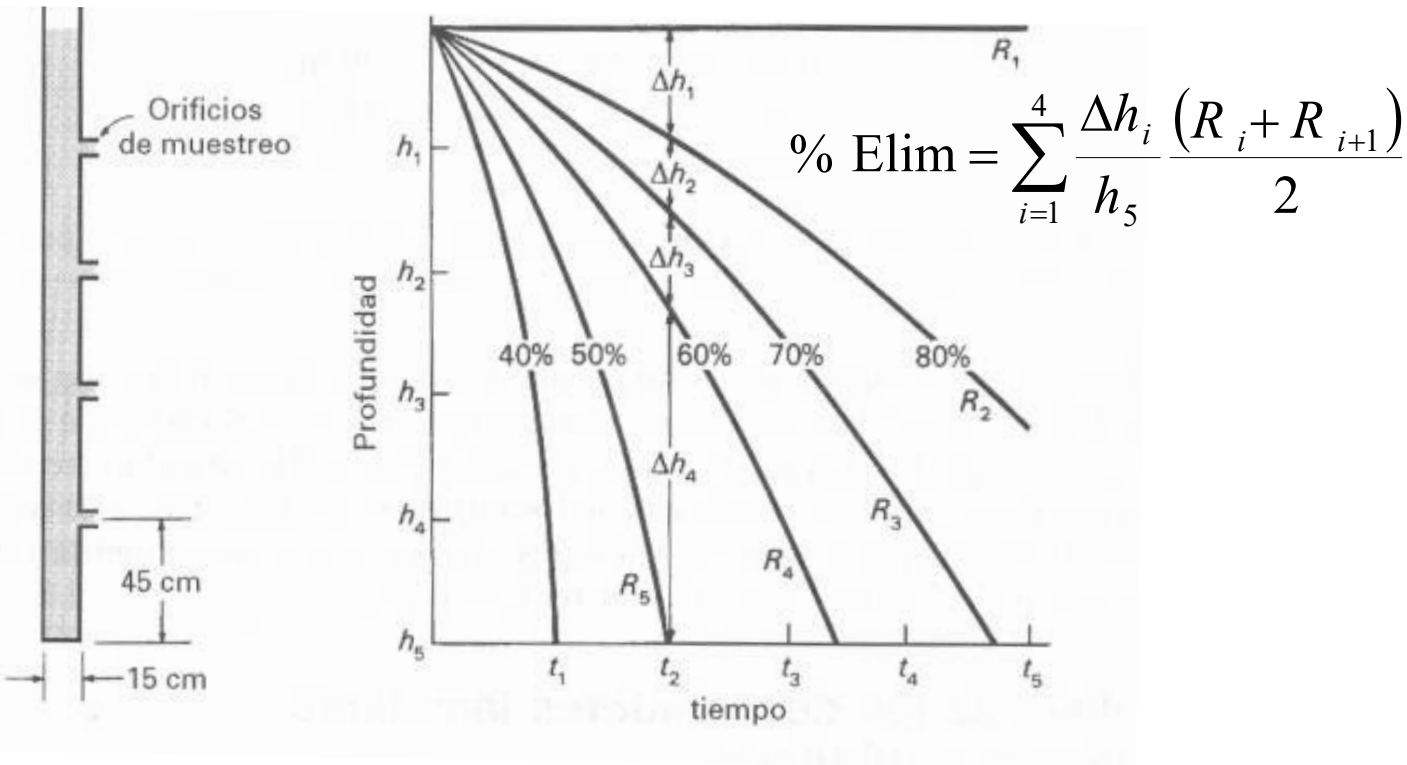
### **Clarificación del agua residual**

- 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**.

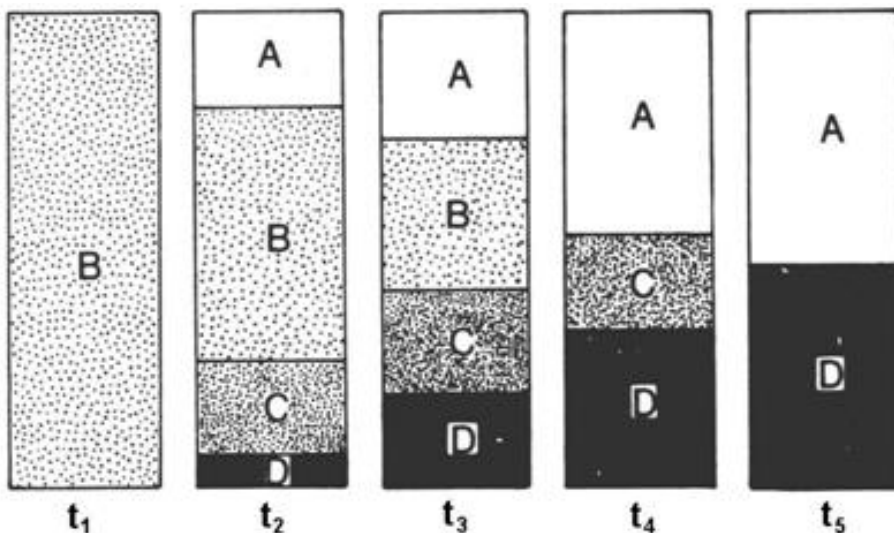


- Se diseña para el tiempo que provoca el máximo % de eliminación en toda la columna con un factor de corrección (no idealidad) para el tiempo de retención de 1.75 – 2.00

# 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

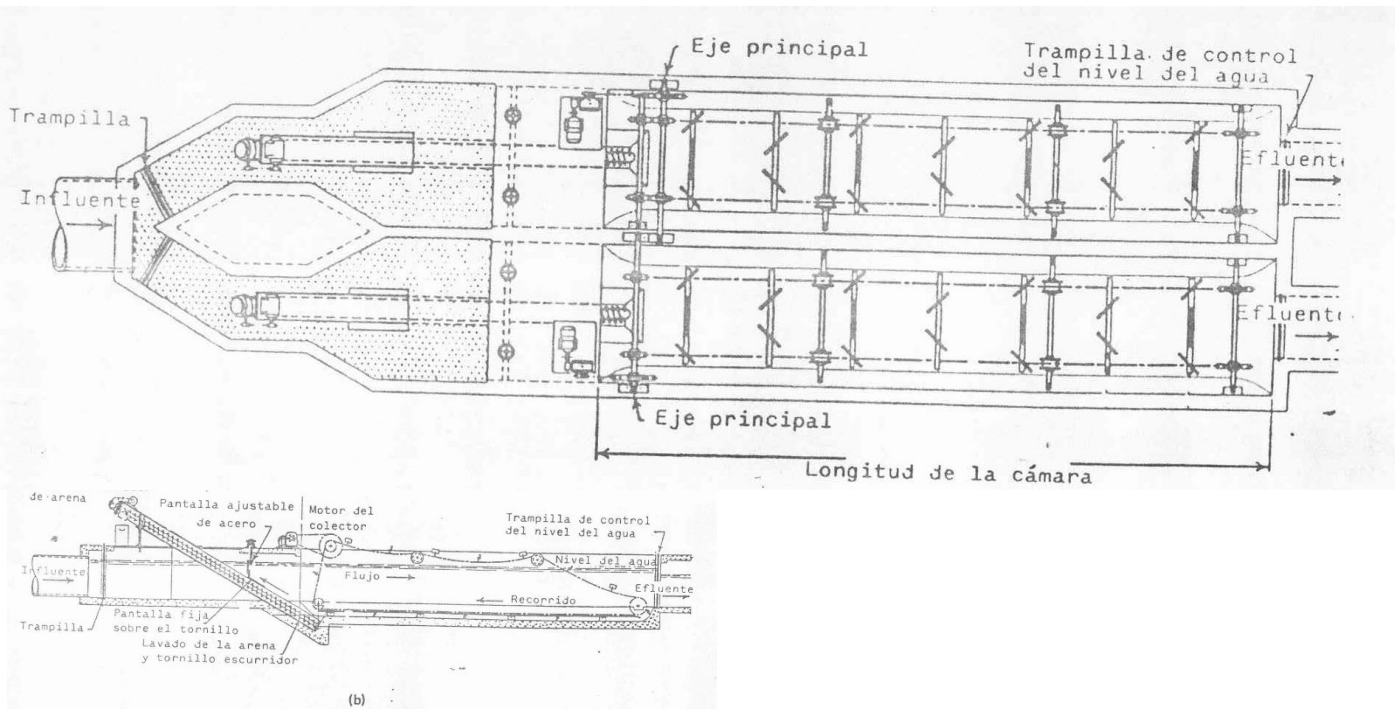
- **Fundamento físico:**
  - Sedimentación discreta de partículas.
- **Objetivo:**
  - Eliminar partículas (arenas y gravas) con densidad y velocidad de sedimentación superiores a las partículas putrescibles.
- **Funciones:**
  - **Proteger** los elementos mecánicos móviles de la **abrasión y el desgaste**.
  - **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:**

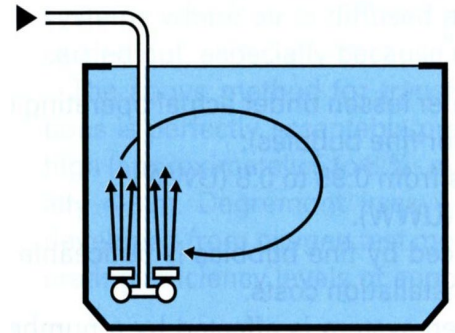
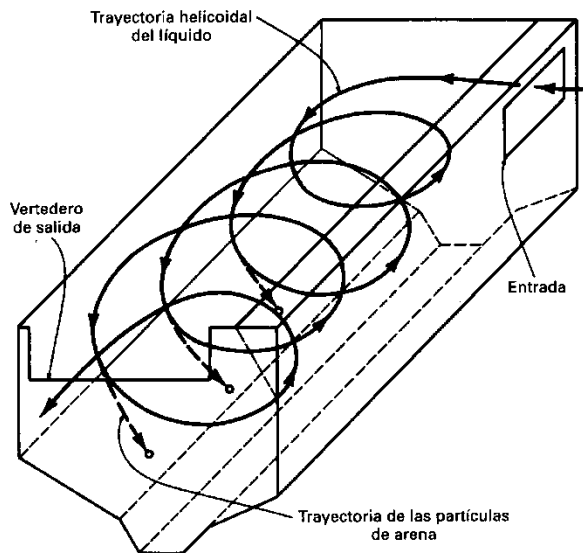
Características	Valor	
	Intervalo	Típico
Carga superficial a $Q_{\max}$ ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ )	$\leq 70$	45
Velocidad en el canal a $Q_{\max}$ (m/s)	0.3 - 0.4	0.35
Calado (m)	0.4 - 1.4	-
Relación longitud-profundidad	15 – 25	20

- 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 $\text{Nm}^3/\text{min} \cdot \text{m}$ de longitud	0.15 - 0.45	0.3
Suministro de aire $\text{Nm}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$ de tanque	0.5 - 2.0	1.0
Cantidades de arena y espumas:		
Arena, $\text{m}^3/10^3\text{m}^3$	0.004 - 0.020	0.015
Espumas, $\text{ml}/\text{m}^3$	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 :

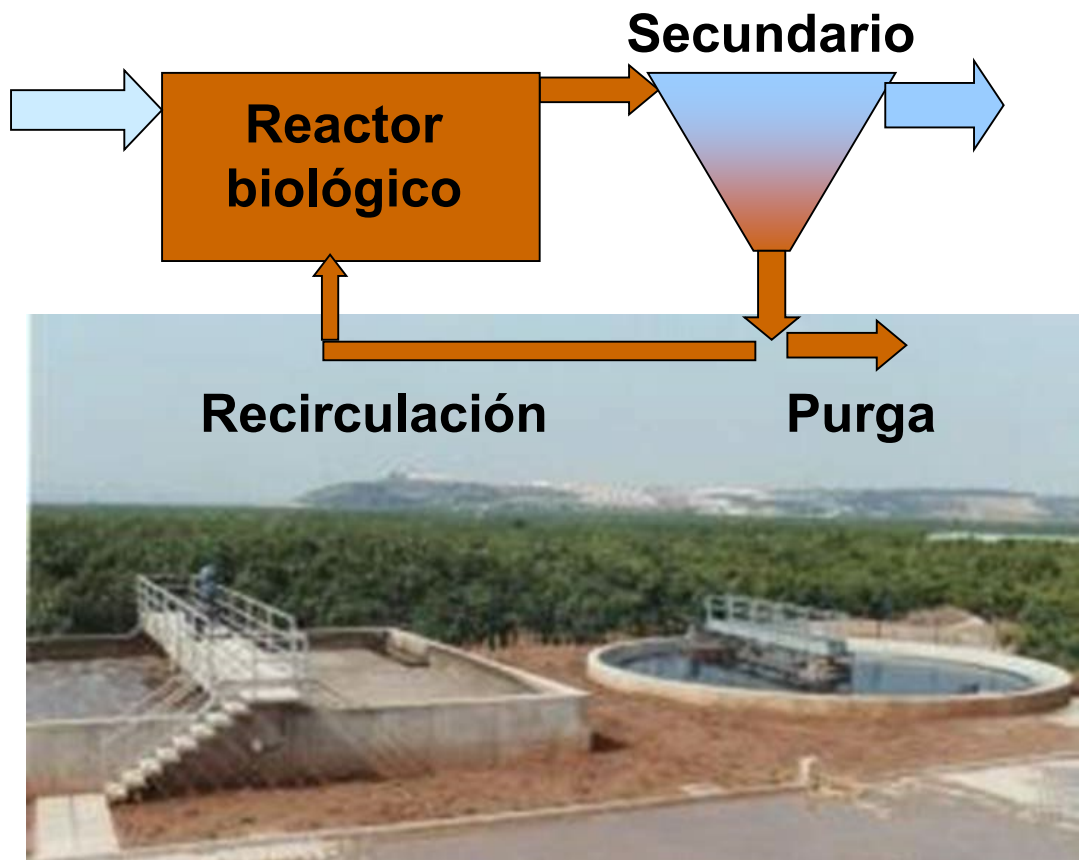
$\theta_h$ (horas)	%E SS (20°C y $C_h=30\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ )
1	43
2	55
3	65
4	66
5	67

- 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

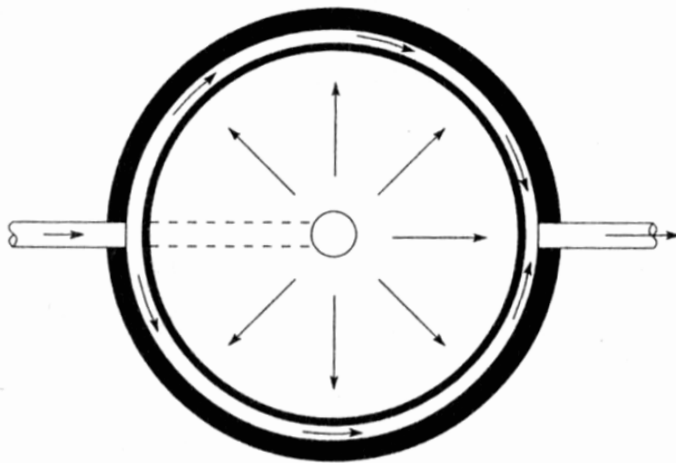
- Rasquetas movidas por puente movil.



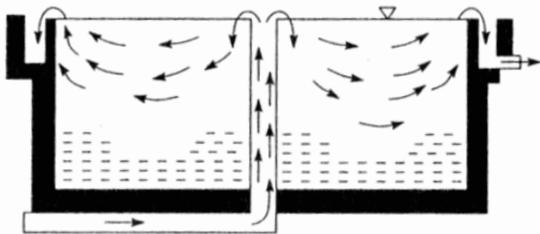
# SEDIMENTACIÓN

## 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

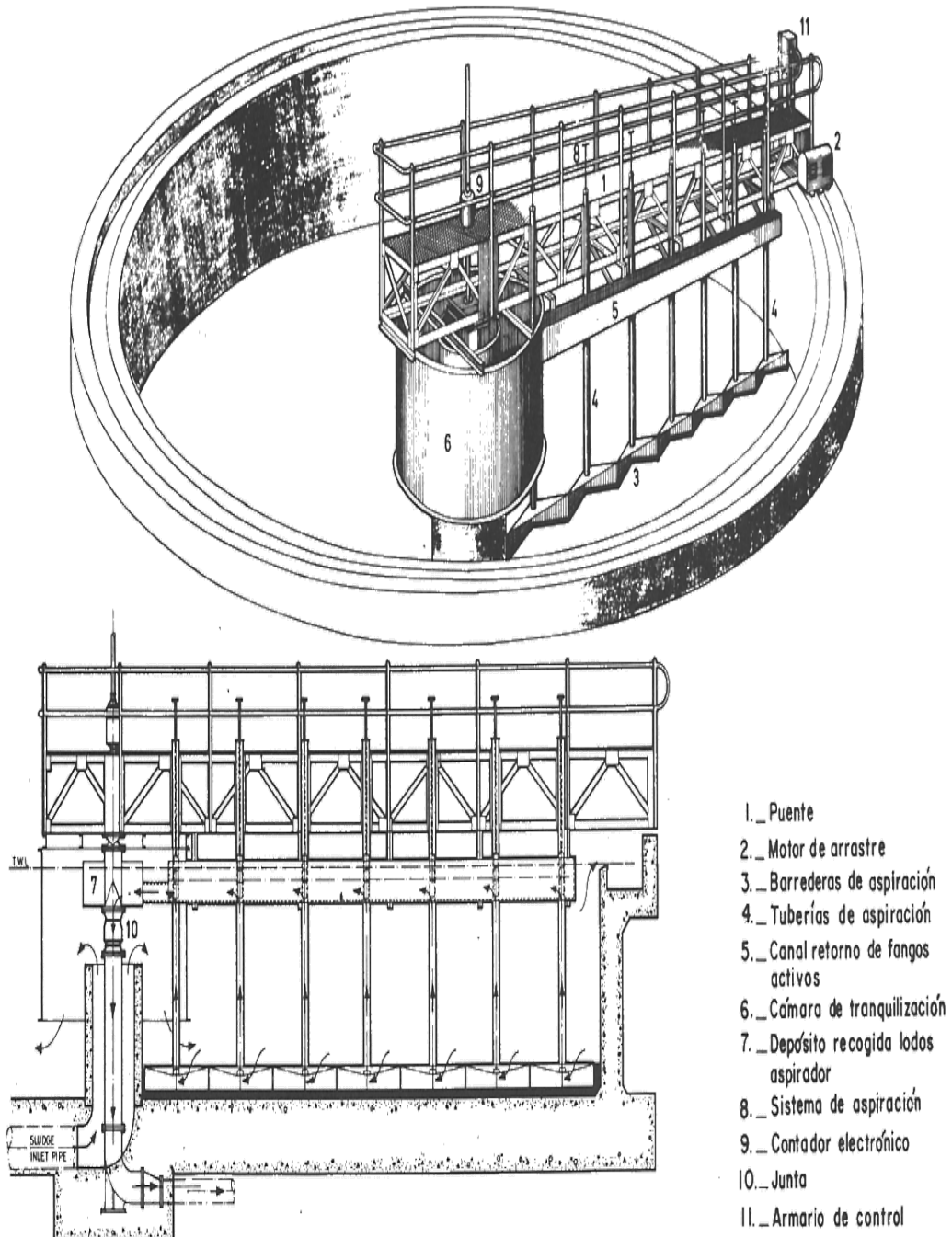
- Recogida por rasquetas. El puente recoge flotantes.



# 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
<b>Tiempo de retención (h)</b> A caudal medio A caudal punta	2 - 3 ≥ 1	2.5 1
<b>Carga sobre vertedero (m<sup>3</sup>/m·h)</b> A caudal medio A caudal punta	≤ 10 ≤ 40	10 40
<b>Calado (m)</b>	2.5 - 3.5	3
<b>Carga superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h)</b> - 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 <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)		Carga sólidos (Kg/m <sup>2</sup> h)		Carga vertedero (m <sup>3</sup> /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  $Q_{\text{med}}$  ;  $\theta h \geq 1 \text{ h}$  a  $Q_{\text{punta}}$

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

$SS_{\text{efluente}} \text{ (mg/l)}$	$C_h \text{ (m}^3\text{/m}^2\cdot\text{h)}$
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 <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> 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

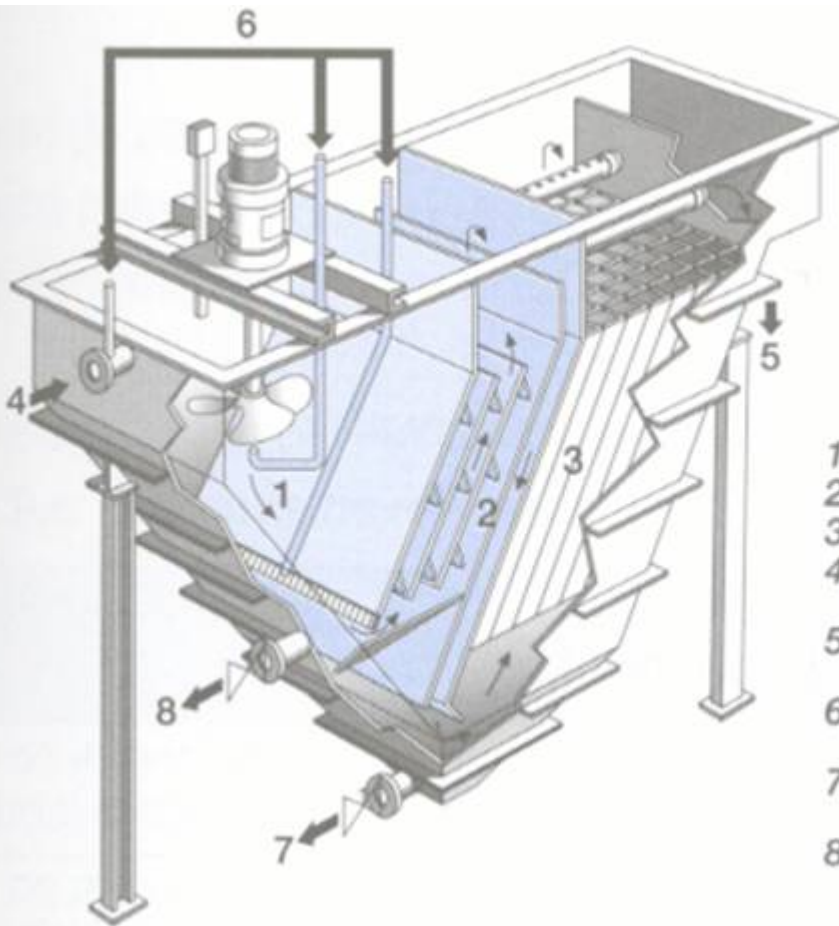
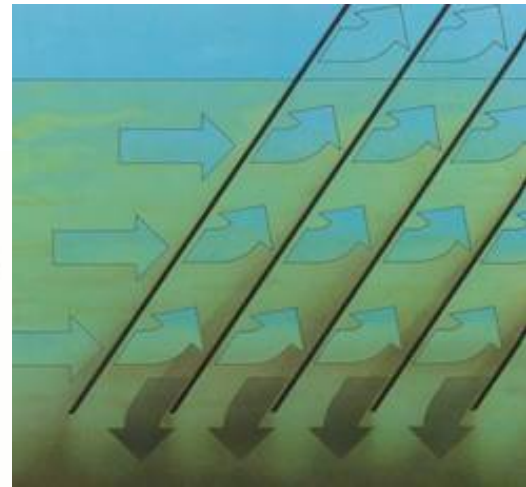
Característica	Valor
Diámetro (m)	3 - 30
Profundidad (m)	3 – 4,5
Pendiente suelo	
Rasquetas	1 : 12
Succión	1 : 10

### 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.

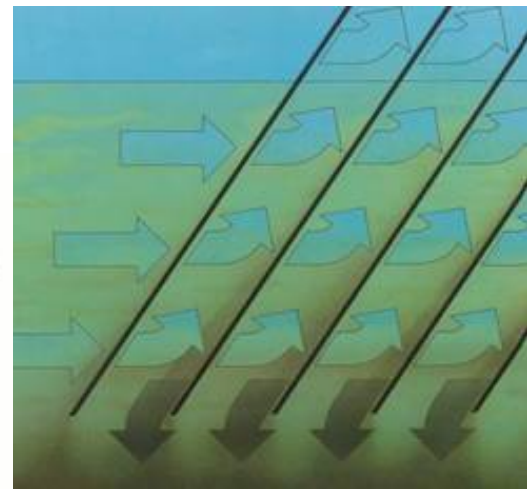
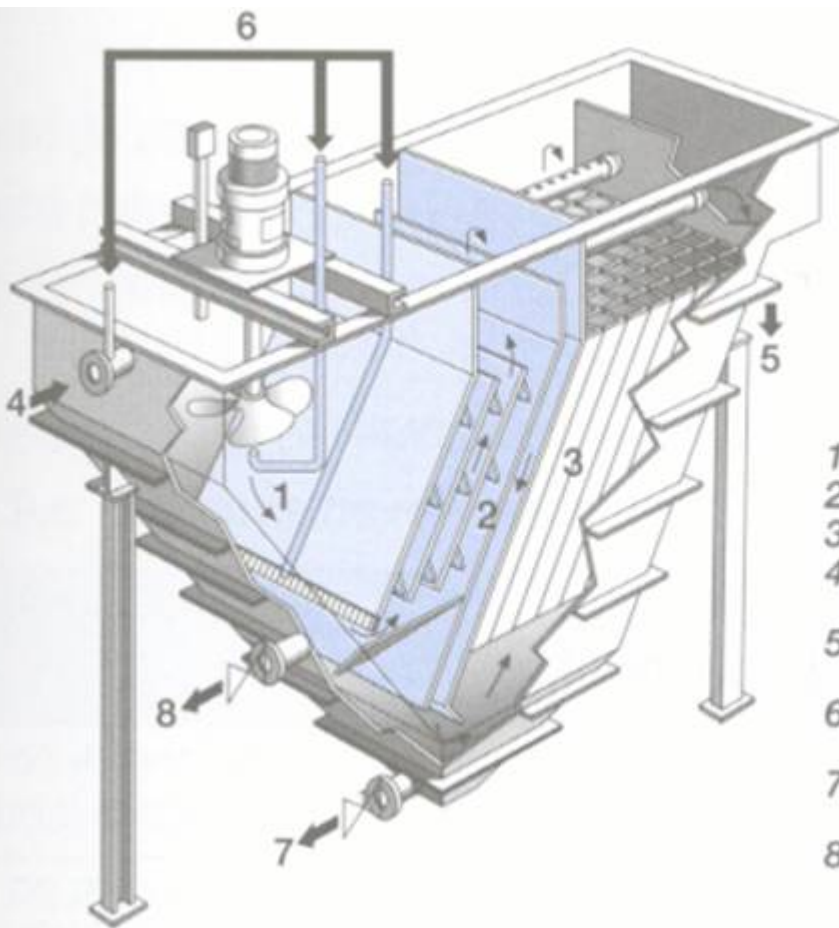


1. Mezclador
2. Floculador
3. Decantador
4. Entrada de agua bruta
5. Salida agua decantada
6. Dosificación de reactivos
7. Extracción de fangos
8. Purga

# SEDIMENTACIÓN

## Decantador de placas y tubos

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

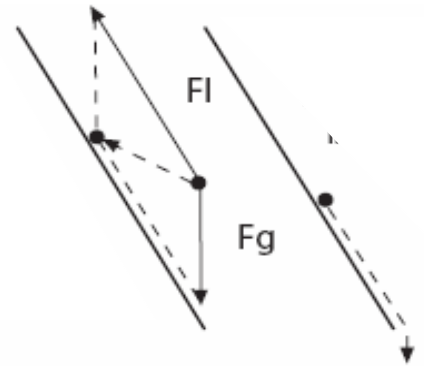


1. Mezclador
2. Floculador
3. Decantador
4. Entrada de agua bruta
5. Salida agua decantada
6. Dosificación de reactivos
7. Extracción de fangos
8. Purga

# SEDIMENTACIÓN

## Decantador de placas y tubos

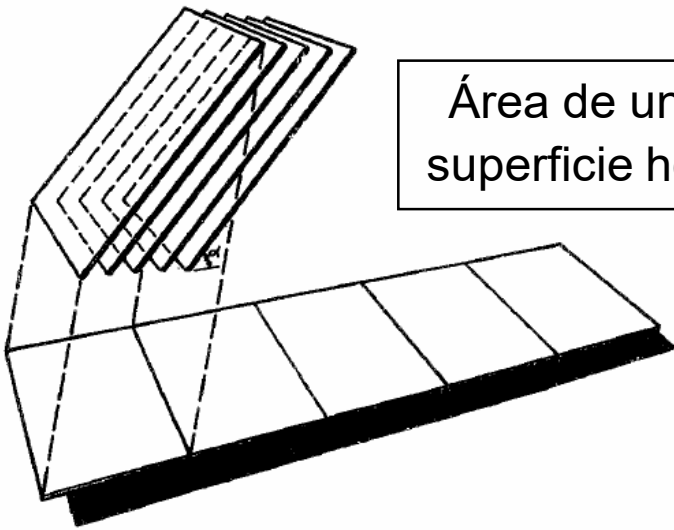
- Principio de funcionamiento:
  - Las partículas se dirigen hacia las placas según la resultante de 2 fuerzas:
    - Fuerza de arrastre ( $F_I$ )
    - Fuerza de la gravedad ( $F_g$ )
  - Una vez sobre la placa, las partículas deslizan hacia la zona de espesamiento
  - Se reduce enormemente la distancia 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:**

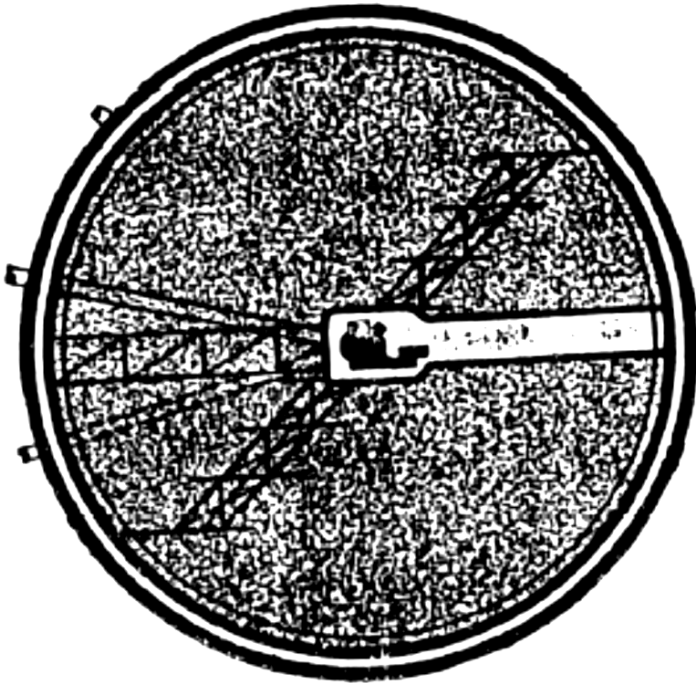


Área de una placa proyectada sobre una superficie horizontal x el número de placas

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

# SEDIMENTACIÓN

## Decantador de placas y tubos

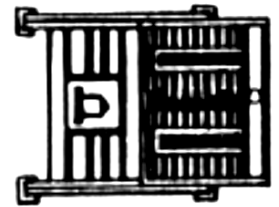


**Comparación a escala:**

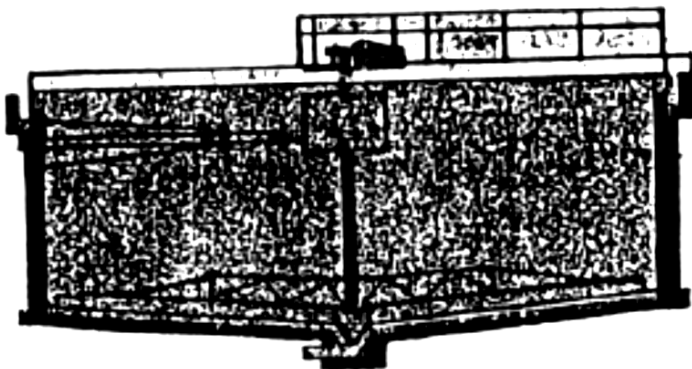
Decantador convencional

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  $Q_{\text{medio}}$ : ( $\theta_h = 12-24$  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)



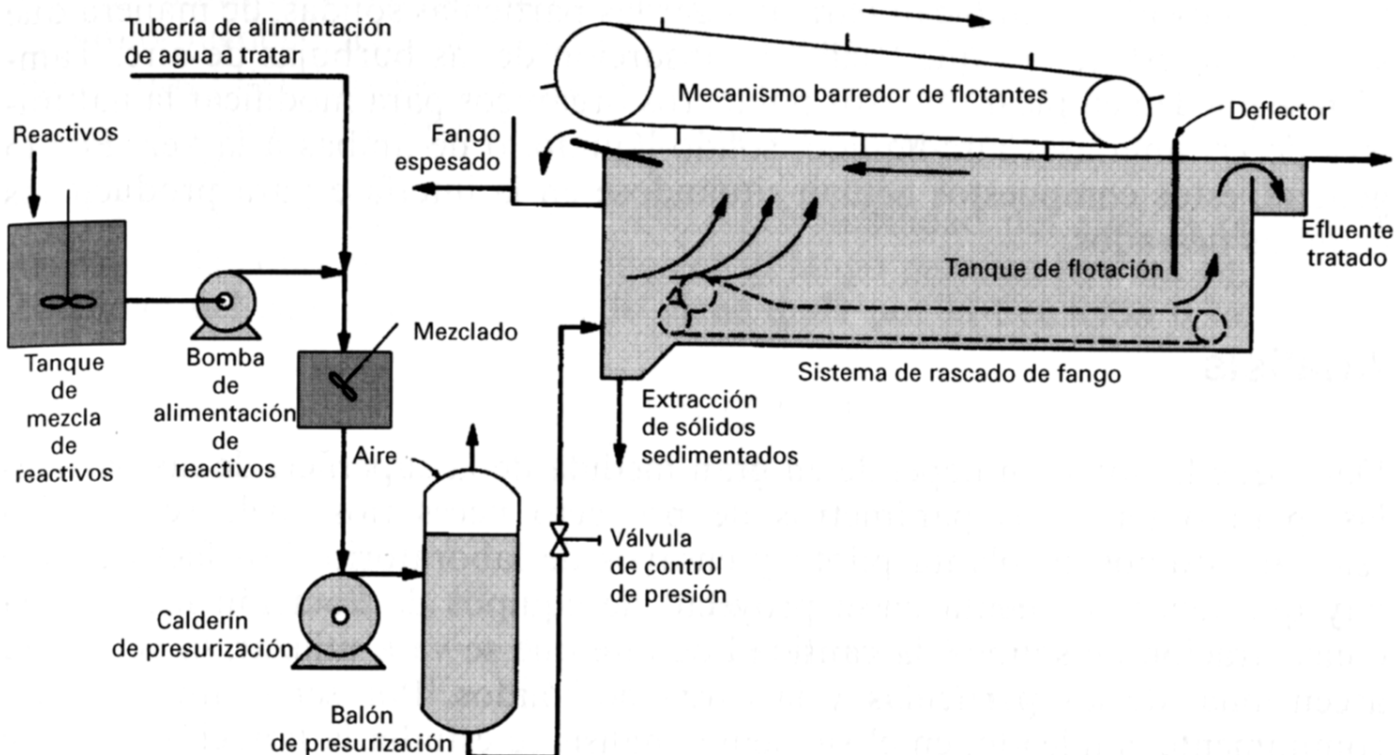
# SEDIMENTACIÓN

## 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

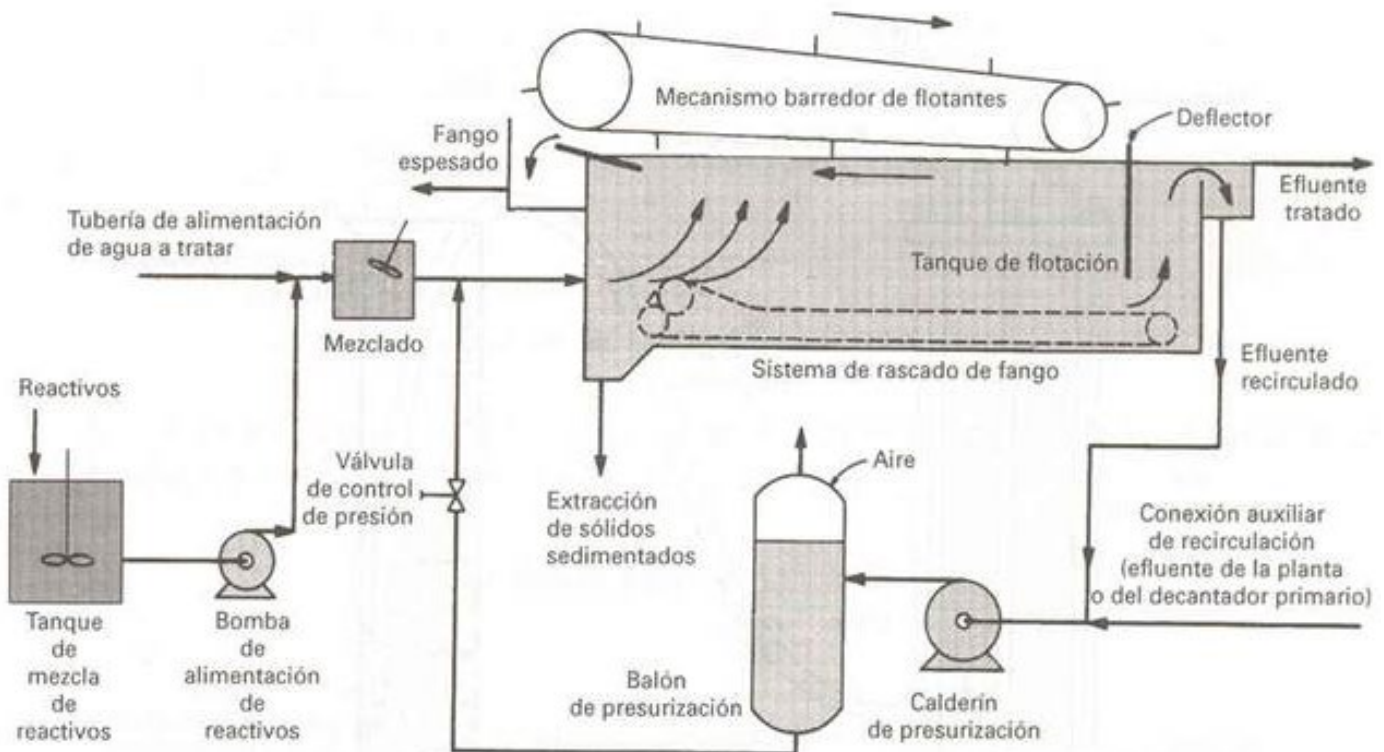
# FLOTACIÓN

- **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.

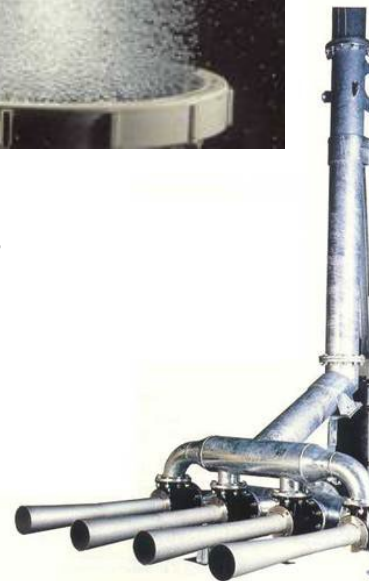


- Difusores:

- De burbuja fina.
- De burbuja gruesa.



- Aireadores especiales: Venturis



# AIREACIÓN

---

## Aireadores Superficiales

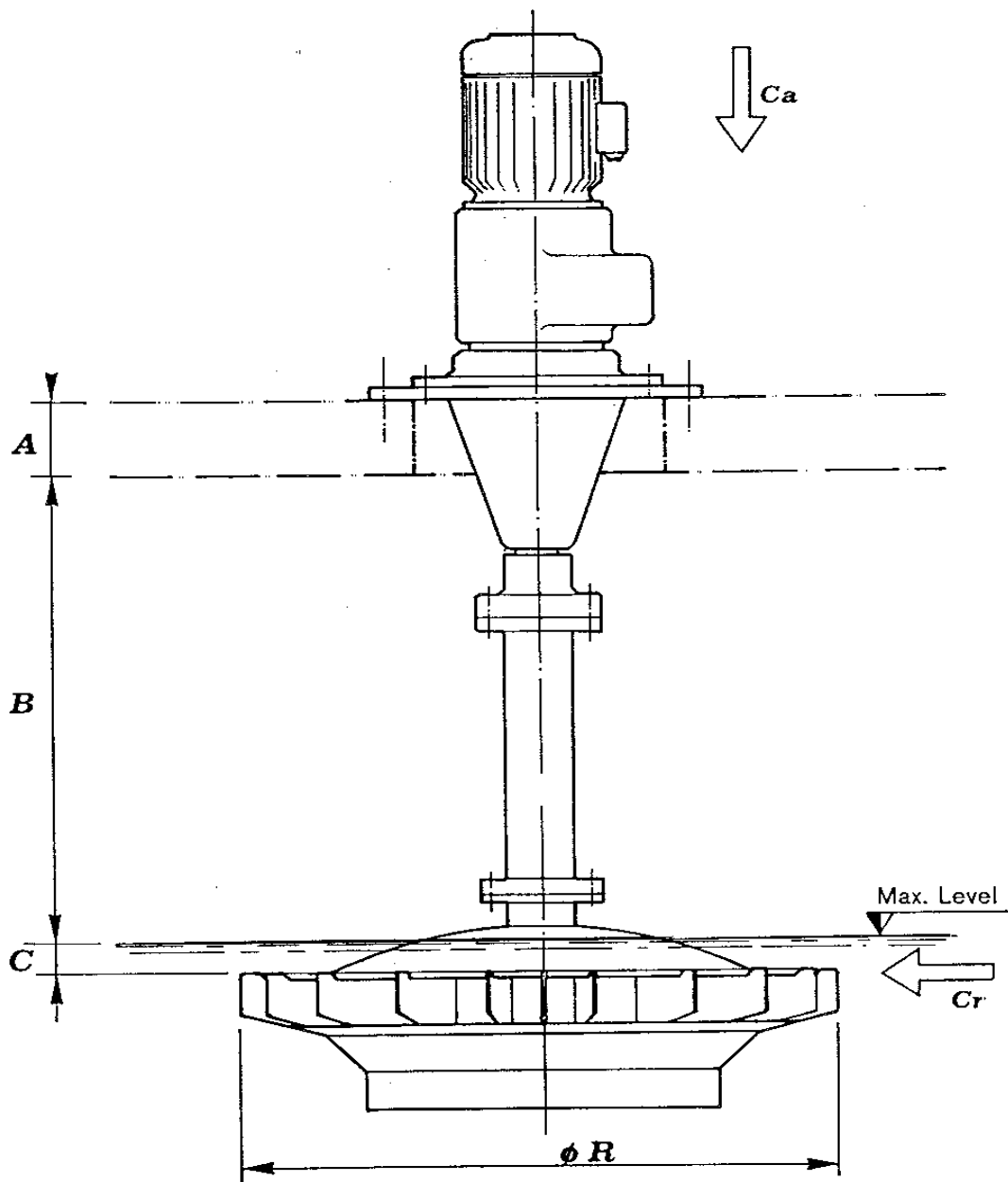
- **Lanzan el agua** en forma de **gotas al aire** a la vez que se **producen vórtices** que permiten que porciones de aire entren en el agua.
- **De eje vertical** (Turbinas):
  - Rotor (más o menos sumergido) unido a un motor eléctrico mediante un reductor de velocidades.
- **De eje horizontal:**
  - 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

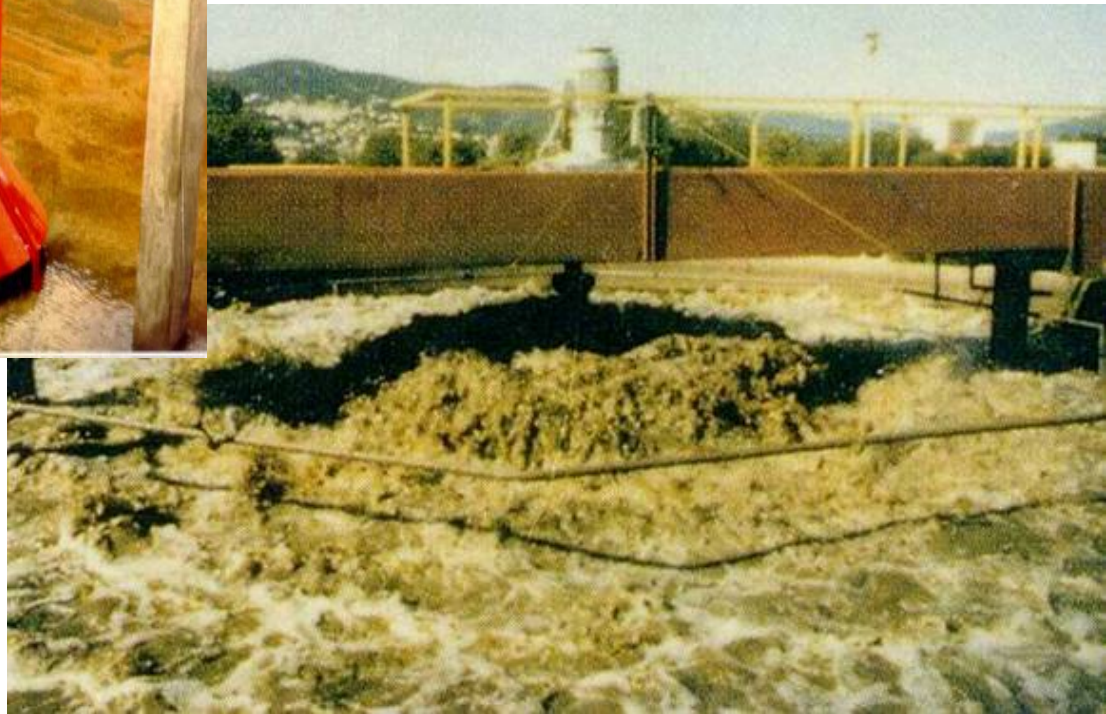
- **De eje vertical (Turbinas):**
  - De flujo axial (alta velocidad).



# AIREACIÓN

## Aireadores Superficiales

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

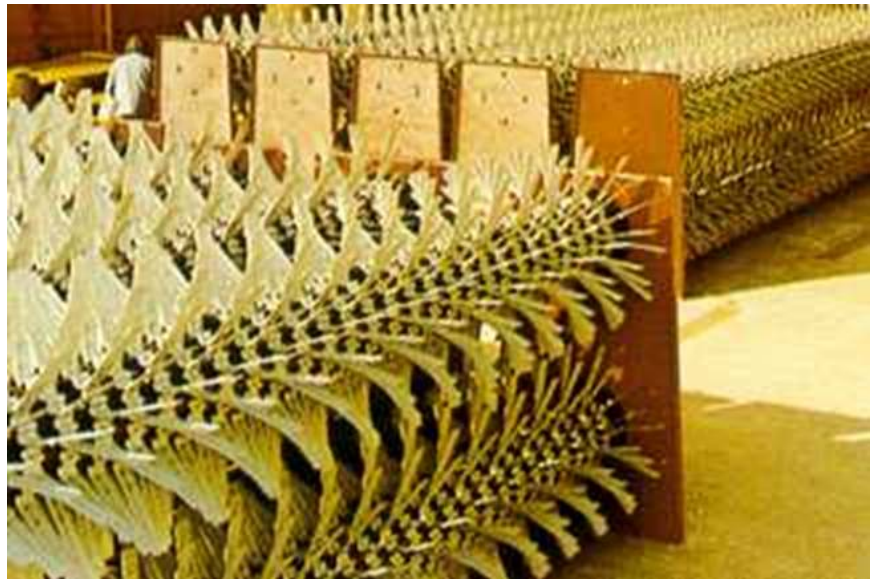


# AIREACIÓN

## Aireadores Superficiales

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

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



- ORBAL



# AIREACIÓN

---

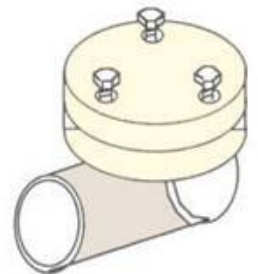
## Aireadores Superficiales

- **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

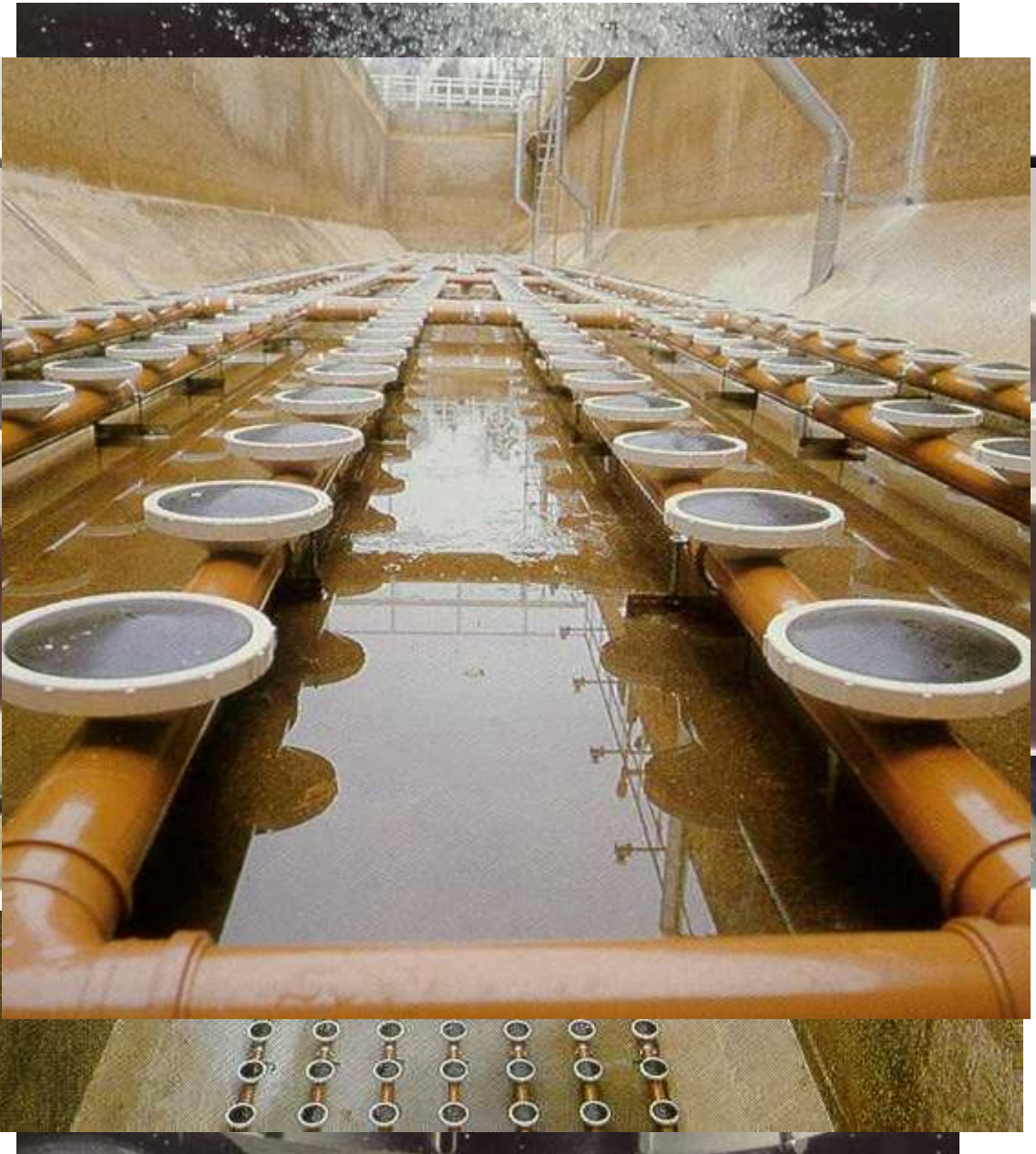
- **Introducen el aire en el agua en forma de burbujas. Al ascender se produce la transferencia de oxígeno.**
- **De Burbuja Fina:**
  - Mayor eficacia.
  - Problemas de atascos.
  - Mayores pérdidas de carga.
  - Clasificación según el material utilizado:
    - De cubierta textil
    - Cerámicos
    - 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



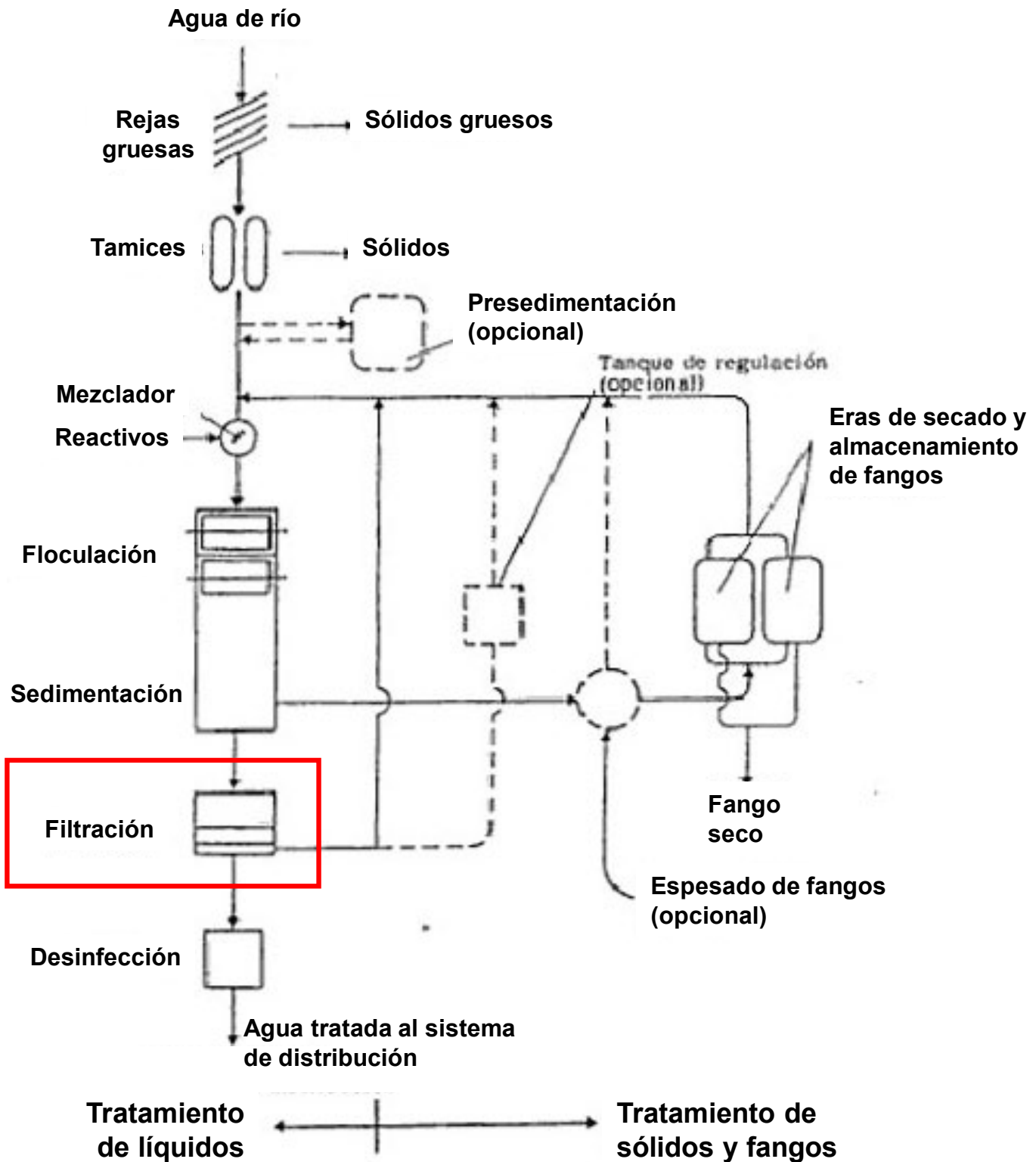
# FILTRACIÓN

---

- **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

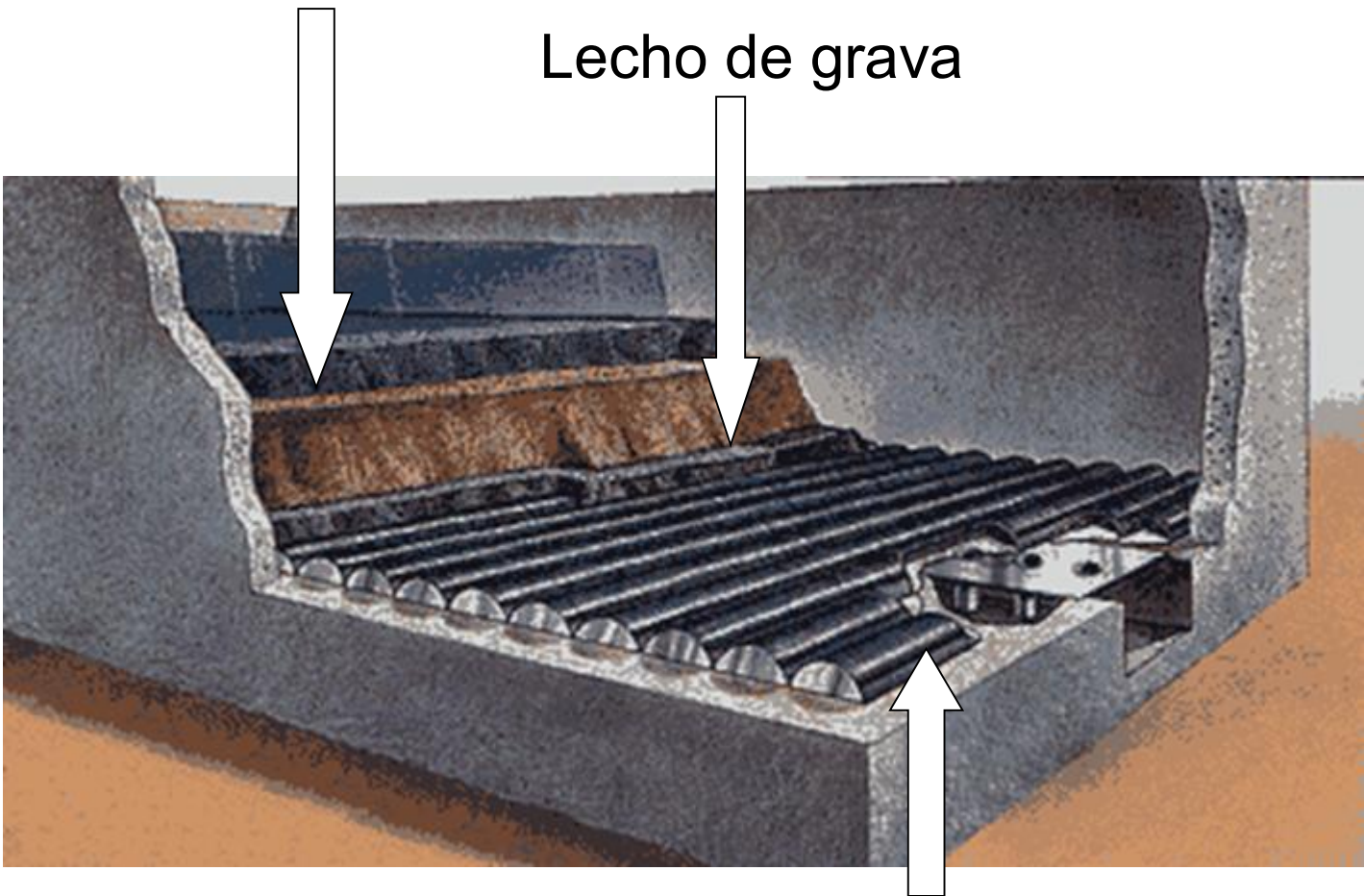
- **Aplicación en ETAP**



# 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

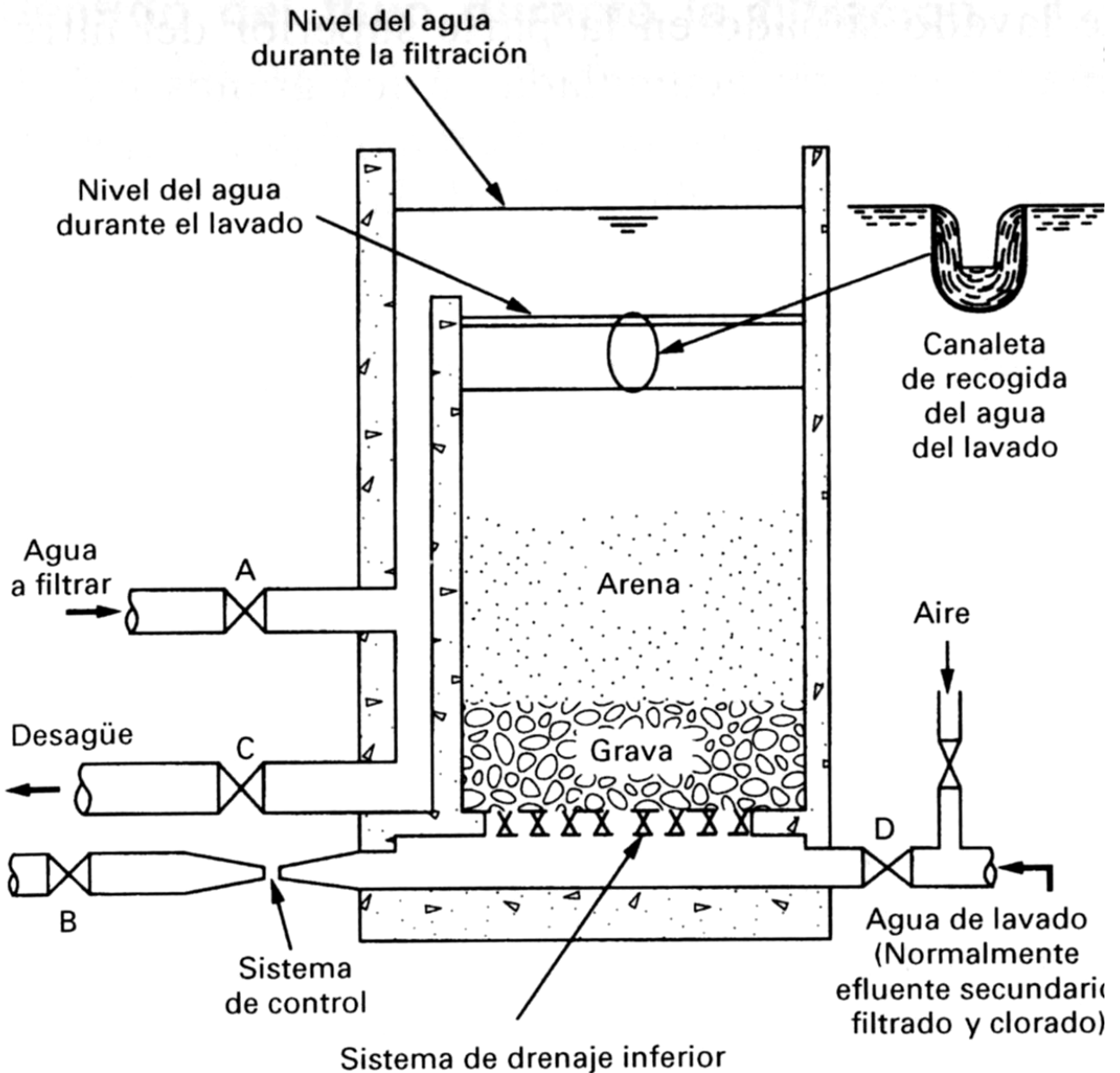
# FILTRACIÓN

- **Elementos:**



# FILTRACIÓN

- **Esquema filtro convencional:**





# FILTRACIÓN

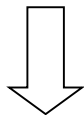
---

- **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.

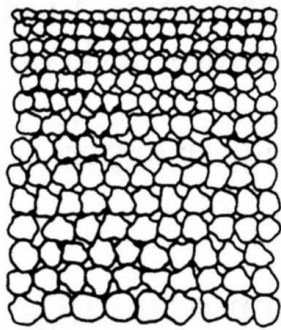


Aumento del área de filtración

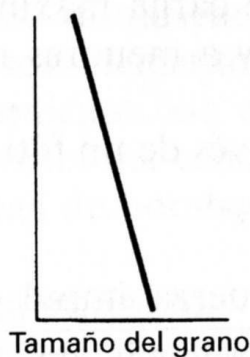
# FILTRACIÓN

- **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

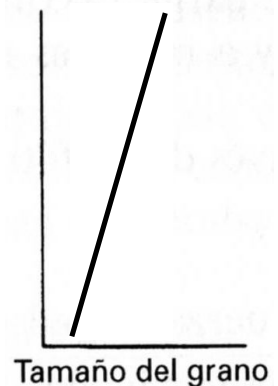
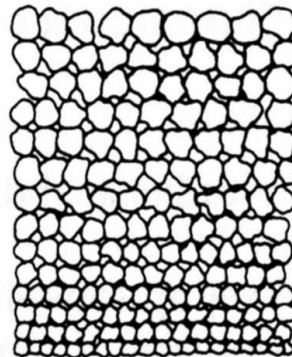


Sección transversal de un lecho de medio único



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

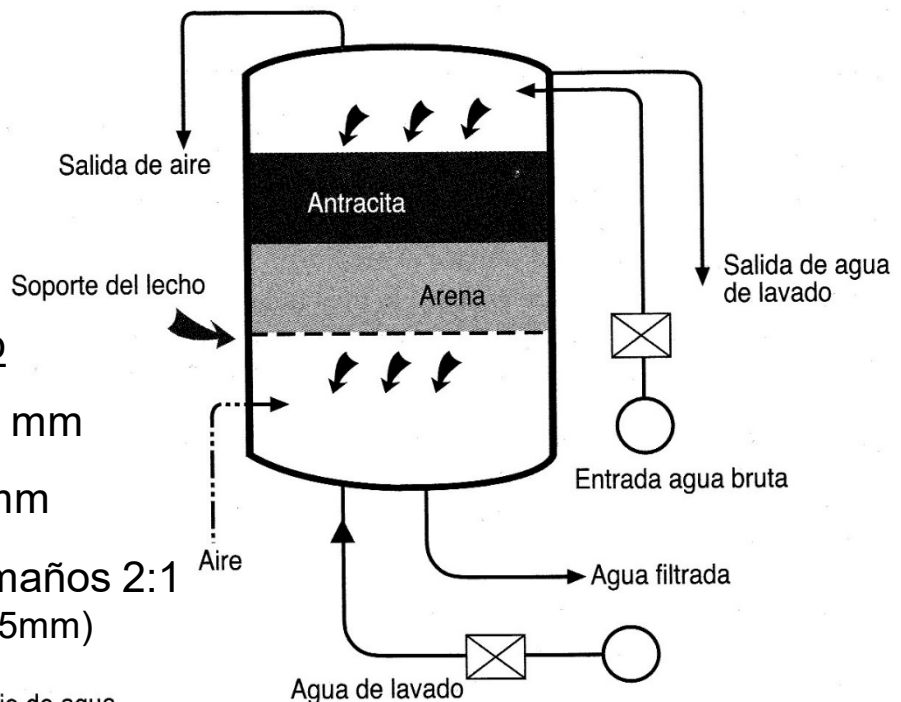
Tamaño partícula lecho

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 m<sup>2</sup>
  - 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 $\mu$ 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