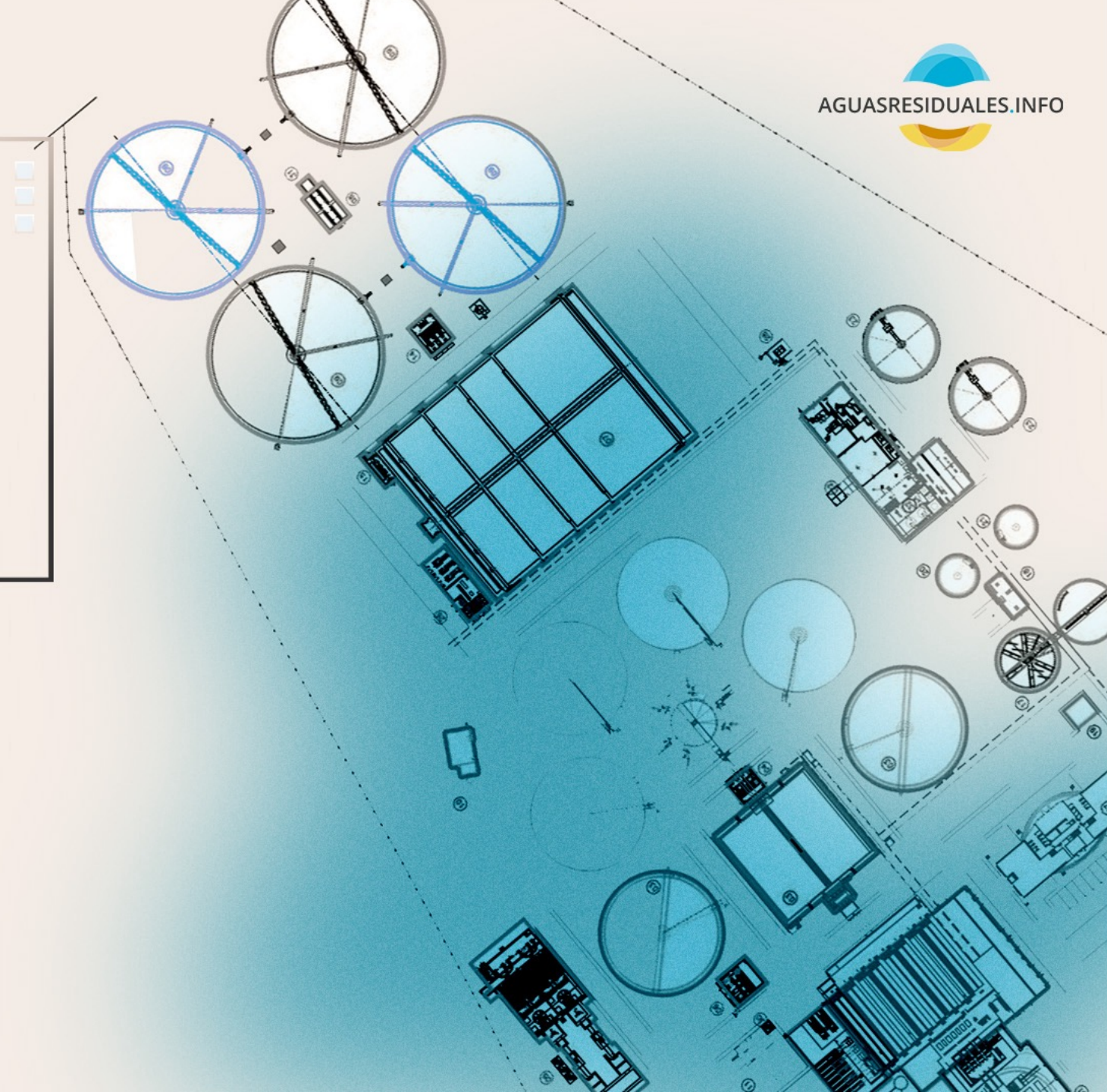


I Ciclo de **FORMACIÓN** *online* **EN EQUIPOS** de **EDAR**

- 10 Sesiones online
- Jueves alternos de febrero a junio
- Horario de tarde
- 16:30 h. de España



Formación de:



SESION 07 – Diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas de agitación en la EDAR

I Ciclo de Formación en equipos de EDAR



SESION 07 – Diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas de agitación

CONTENIDOS

- Introducción
- Conceptos básicos de mezcla y agitación
- Tipos de agitadores
- Diseño de la agitación
- Consideraciones básicas

Introducción

¿Sabes realmente cuánto influye el sistema de agitación en el rendimiento de tu EDAR o tu ETAP?

La agitación es uno de esos elementos que muchas veces pasa desapercibido en el diseño de una planta, pero que tiene un impacto directo en la eficiencia del proceso biológico, en el consumo energético y en los costes de operación y mantenimiento.



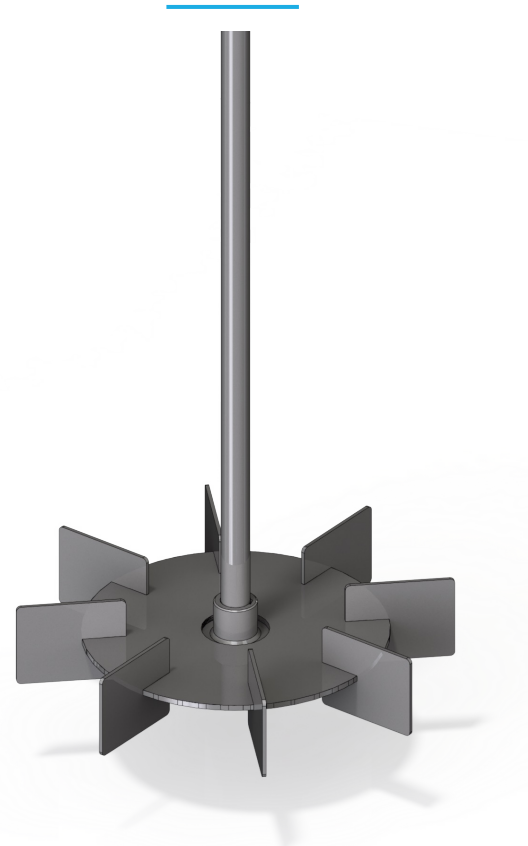
Conceptos básicos de mezcla y agitación

En el tratamiento de aguas residuales se requieren agitadores eficientes para mantener los sólidos en suspensión y asegurar la homogeneización en grandes tanques de mezcla y equalización, especialmente en tanques anaerobios y anóxicos para la eliminación completa de nutrientes en procesos de lodos activados.

La disposición y el diseño de los sistemas de mezcla se deben considerar en el diseño del reactor.



Conceptos básicos de mezcla y agitación



Una mezcla adecuada es esencial para el correcto funcionamiento de la planta depuradora.

Se deben analizar los requisitos de los sistemas de mezclado y el diseño de agitadores en grandes tanques, desde el diseño conceptual hasta ensayos de laboratorio, incluyendo simulación CFD y pruebas a gran escala con trazadores tras la puesta en marcha.



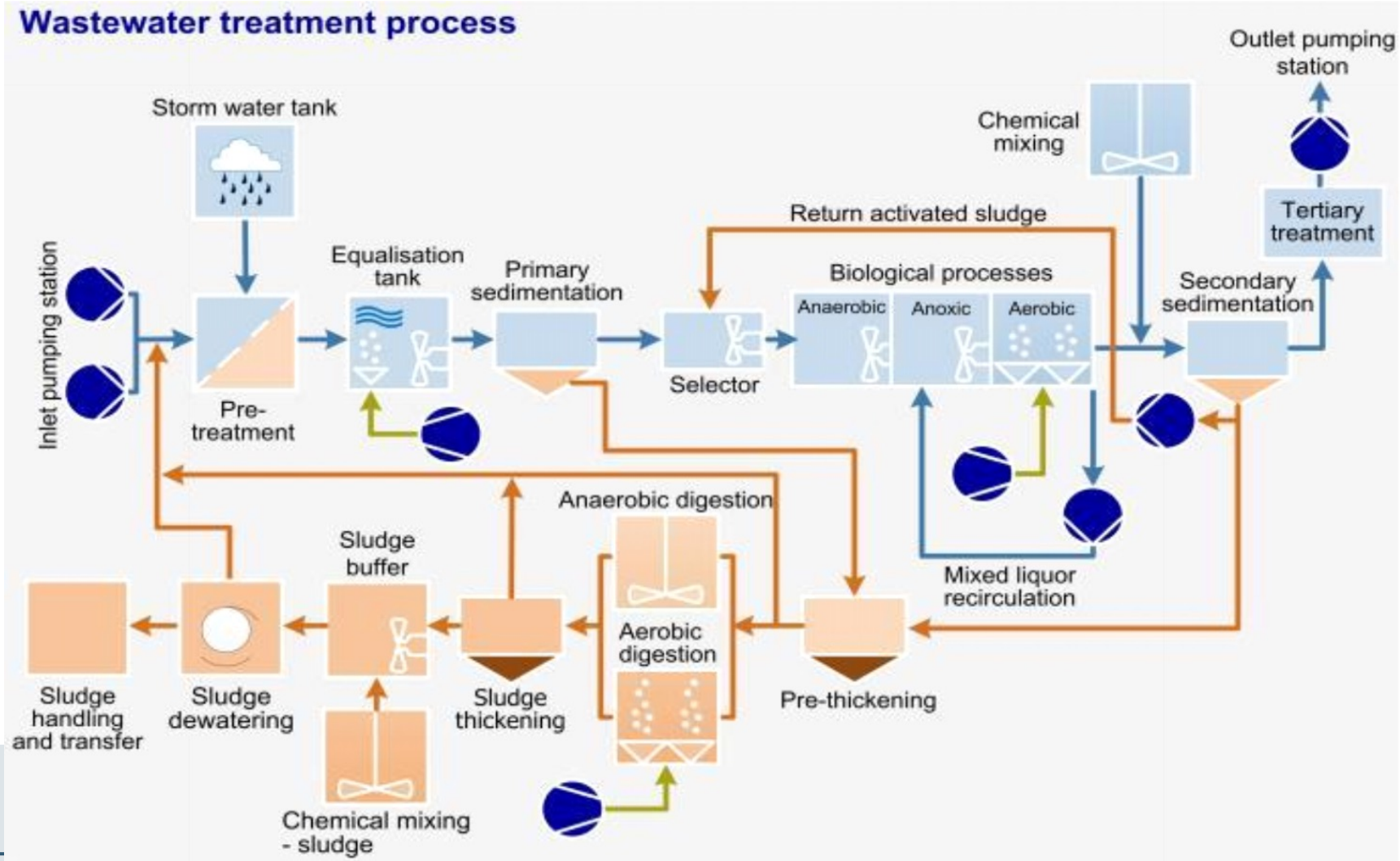
Conceptos básicos de mezcla y agitación

En ingeniería de procesos se establece una clara distinción entre las siguientes **opciones fundamentales de mezcla**:

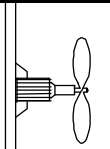
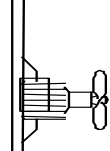
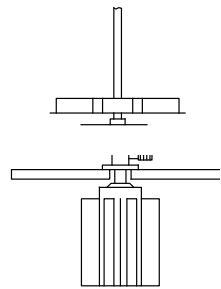
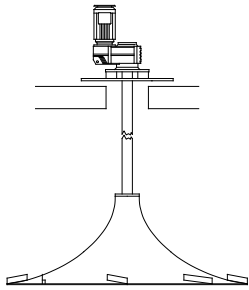
- Homogenización: compensación de las diferencias en concentración o temperatura
- Suspensión: mantenimiento de las partículas sólidas en suspensión
- Disolución de sólidos, emulsiones, polimerizaciones
- Dispersión de gases en líquidos
- Mejora de la transferencia de calor y de la materia



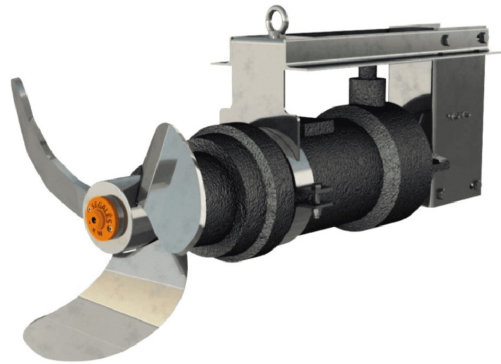
Conceptos básicos de mezcla y agitación



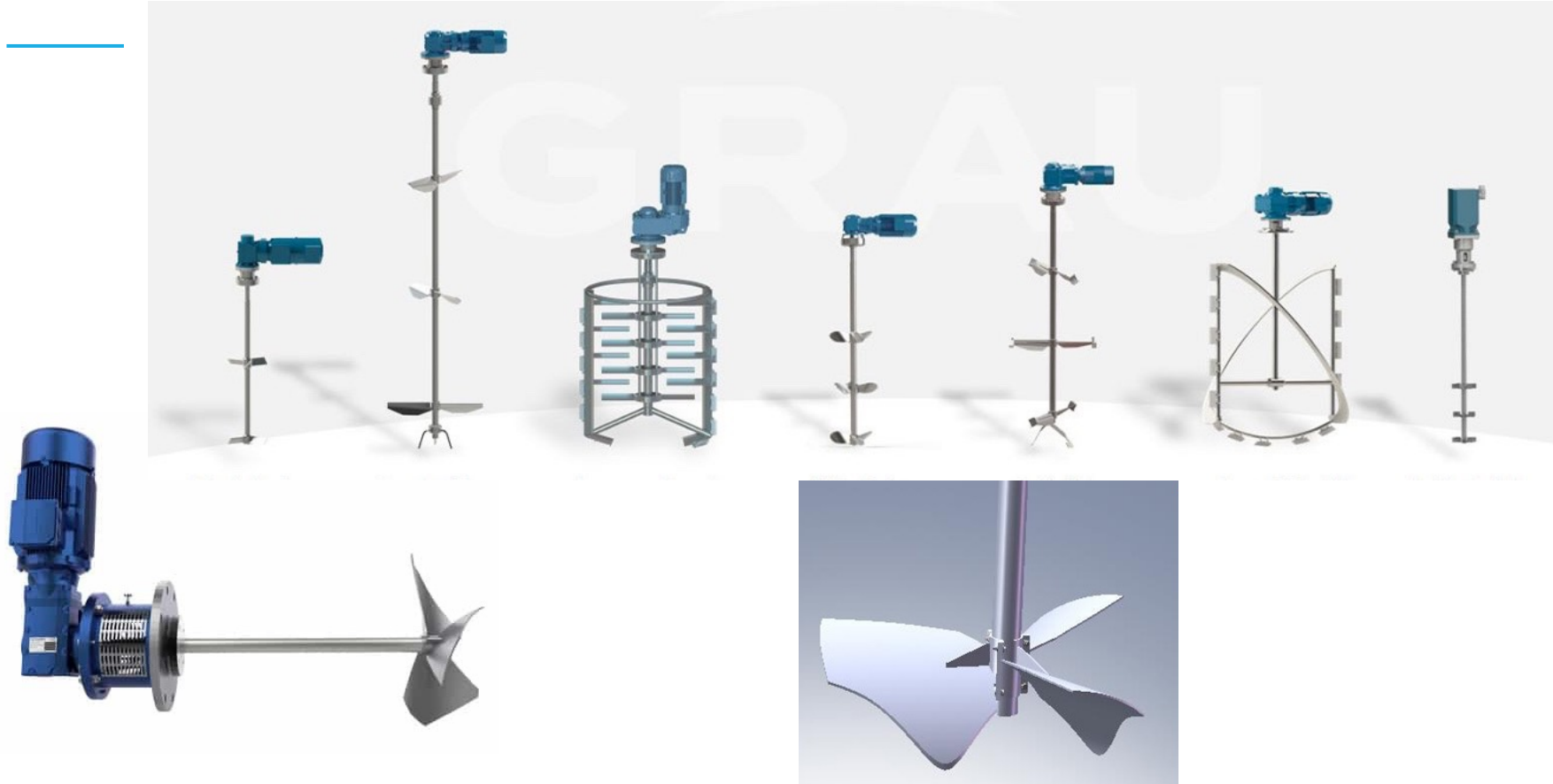
Tipos de agitadores

Mixer type	Schematic	Mixing task(s)	Applications
Horizontal Propeller Mixers (slow-speed)		Homogenization, Suspension	biological phosphorus removal, denitrification
Horizontal Propeller Mixers (high-speed)		Homogenization, Suspension (higher-viscosity fluids)	Storm water tanks, sludge tanks
Blade mixer		Homogenization, Suspension, Dispersion	Biological phosphorus removal, denitrification (Mainly in carousel basins)
Hyperboloid mixers and mixer/aerators		Homogenization, Suspension, Dispersion , Heat transfer	Biological phosphorus removal, denitrification, BOD-removal, nitrification, intermittent processes, sludge treatment

Tipos de agitadores



Tipos de agitadores



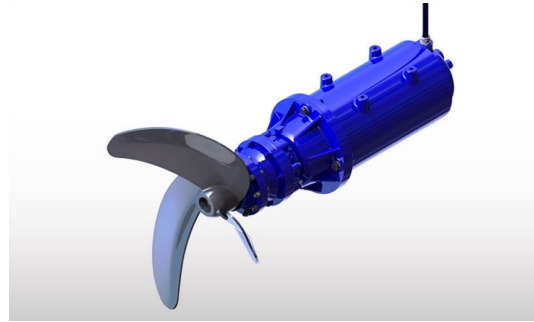
Tipos de agitadores

Los agitadores, mezcladores, coaguladores, conductores, vehiculadores, pueden ir ubicados en:

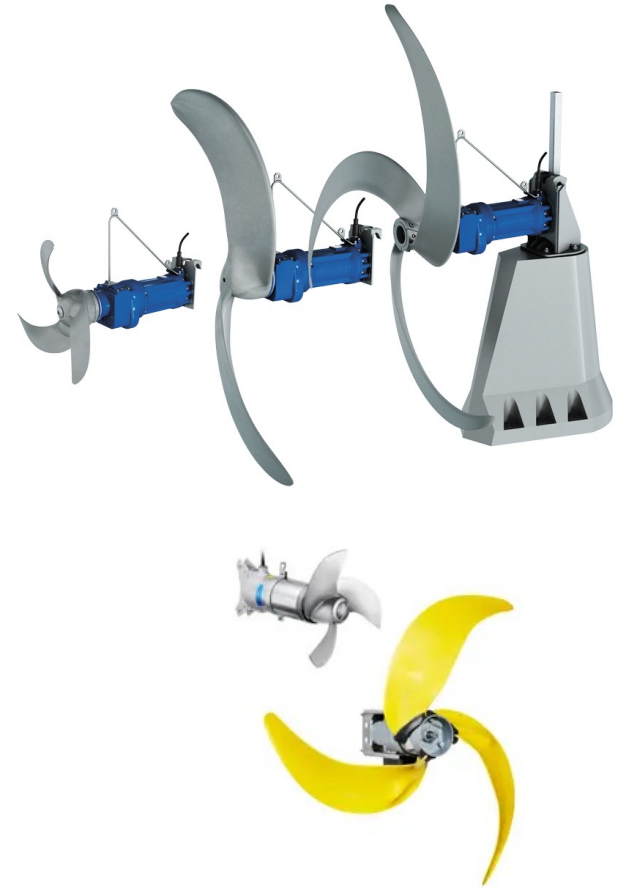
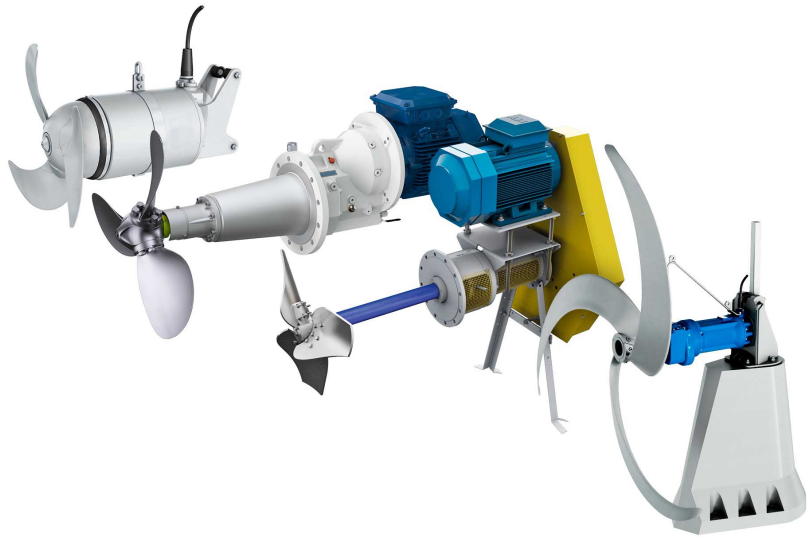
- Horizontal
- Vertical
- Inclinado
- Lateral



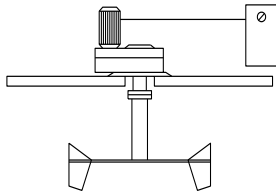
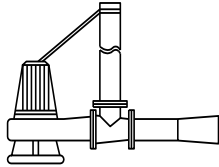
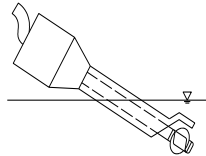
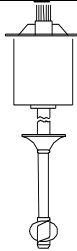
Tipos de agitadores



Tipos de agitadores



Tipos de agitadores

Mixer type	Schematic	Mixing task(s)	Applications
Surface aerators		Suspension, Dispersion	BOD-Removal, Nitrification
Self-aspirating submerged aerators		Dispersion	BOD-Removal, Nitrification, sludge treatment
Self-aspirating helical aerators		Dispersion	BOD-Removal, Nitrification, sludge treatment
Digested sludge mixers		Homogenization	Sludge digesters

!!! Vamos a diseñar !!!

¿Cuántos?

¿Velocidad?

¿Diámetro?

Diseño de la agitación

Para el correcto dimensionamiento de los agitadores es necesario conocer:

- El tamaño y geometría del tanque
- El propósito de la mezcla
- Las entradas y las salidas de la balsa
- Los posibles obstáculos al flujo (aireadores, calderería...)
- La posición del agitador: centrado, esquinado, semiesquinado... **la eterna lucha con los instaladores**

Diseño de la agitación

Es necesario conocer:

- Alta turbulencia en el fondo: hay que evitar sedimentación
- Importancia de velocidad mínima en el fondo
- Alto predominio de tanques rectangulares en las EDAR
- Reglas de diseño similares en tanques circulares y tipo carrusel
- Agitación de fondo centralizada, implica mejor eficiencia energética

Diseño de la agitación

Es necesario conocer:

- ¿Sabemos todas características del fluido que quiero agitar?
- Importancia de conocer la existencia de partículas sólidas y su naturaleza
- ¿Es el proceso estacional o no hay oscilaciones?
- ¿Hay cambios considerables en las condiciones externas?
- ...

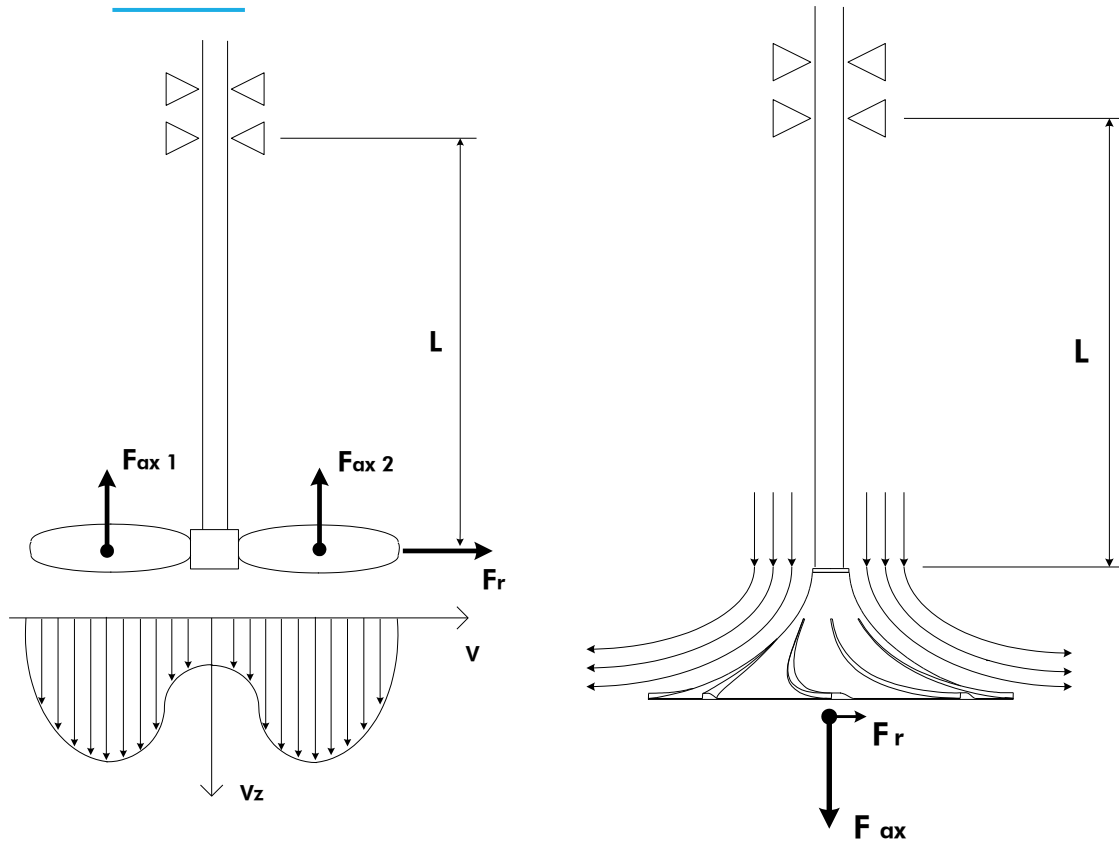
Diseño de la agitación

Es necesario conocer:

- Definir el punto crítico de deposición (normalmente cerca de la pared del tanque)
- Cambio de flujo horizontal
- Capa límite desarrollada y bajas velocidades
- Mayor riesgo de sedimentación en el fondo



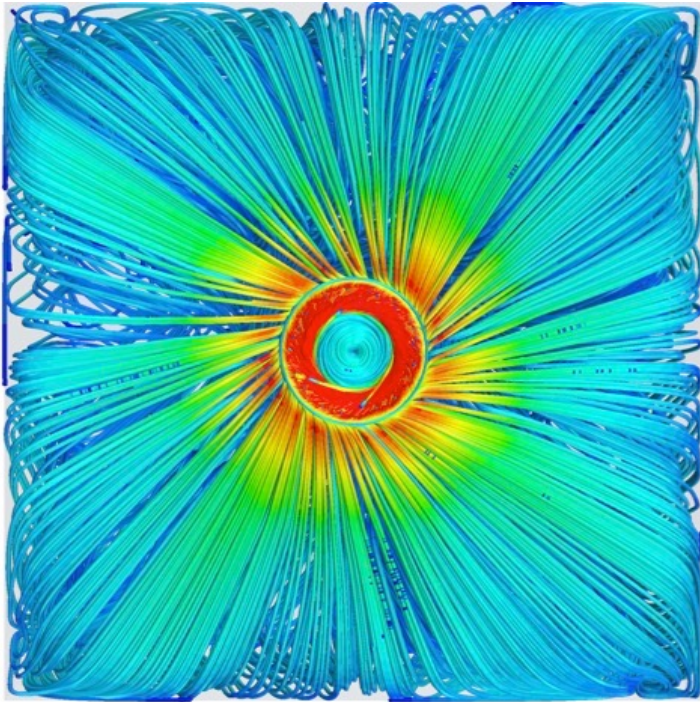
Diseño de la agitación



En un agitador de hélice el conjunto motorreductor padece altas cargas, también afecta al puente.

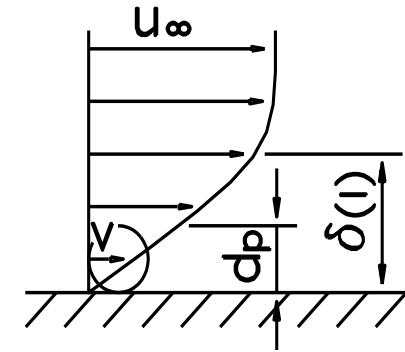
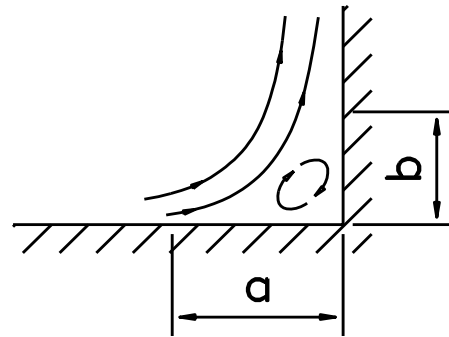
En un agitador hiperboloide el conjunto motorreductor padece bajas cargas y se equilibran.

Diseño de la agitación



Es necesario conocer:

- Las esquinas **NO** son zonas críticas
- La mezcla radial genera un vórtice ascendente
- Se evita la sedimentación en ese punto



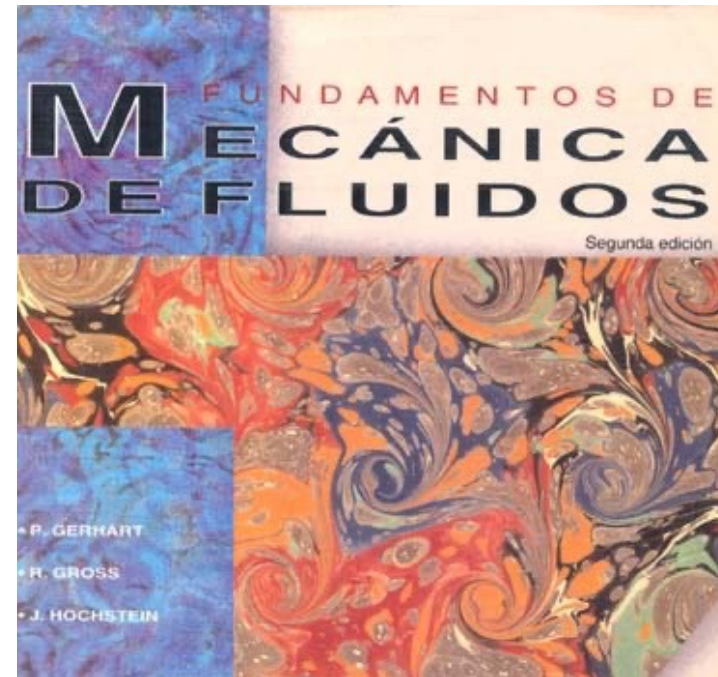
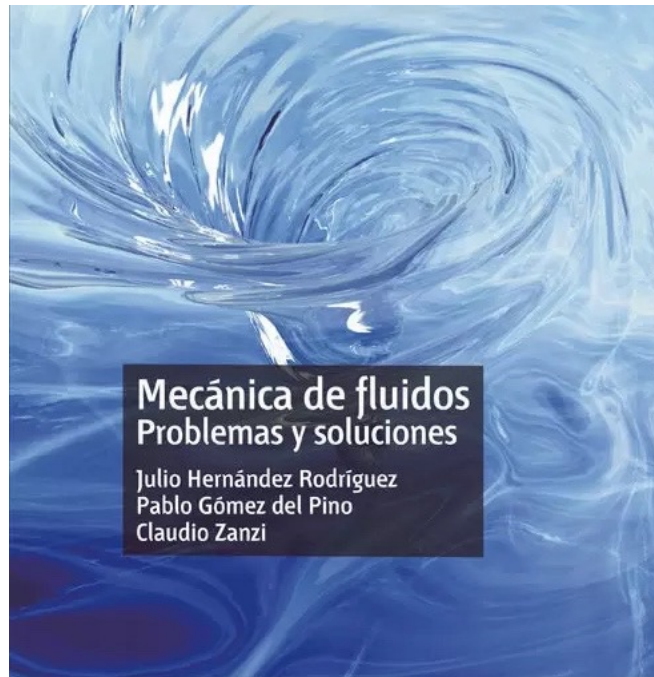
Diseño de la agitación

Es necesario conocer:

- El punto de cálculo recomendado suele estar en torno a $L/10$
- Ese sería el punto adecuado para analizar la capa límite
- Se plantean dos casos diferenciados límite de análisis de las fuerzas sobre las partículas:
 - Tensión cortante en la pared
 - Fuerza de arrastre

Diseño de la agitación

¡Vamos a repasar un poco de la mecánica de fluidos!



Diseño de la agitación

$$\frac{\pi \cdot d_P^2}{4} \cdot \tau_w = \Delta\rho \cdot \frac{\pi \cdot d_P^3}{6} \cdot g$$

$$\left(\frac{d_P \cdot u_\tau}{\nu} \right)^2 = \frac{2}{3} \cdot \frac{d_P^3 \cdot g}{\nu^2} \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho_L}$$

$$\tau_w = c_f' \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot u_\infty^2$$

$$u_\infty = \overline{u_\infty} + u_\infty'$$

$$c_f' = 0,0592 \text{Re}_l^{-1/5}$$

$$n = C \cdot \frac{u_\infty}{\pi \cdot d_R}$$

$$\text{Re}_\tau^2 = \frac{2}{3} \cdot \text{Ar}$$

$$P = \text{Ne} \cdot \rho_L \cdot n^3 \cdot d_R^5$$

$$P = \text{Ne} \cdot \rho_L \cdot \left(\frac{\overline{u_\infty} + u_\infty'}{\pi} \right)^3 \cdot d_R^2$$

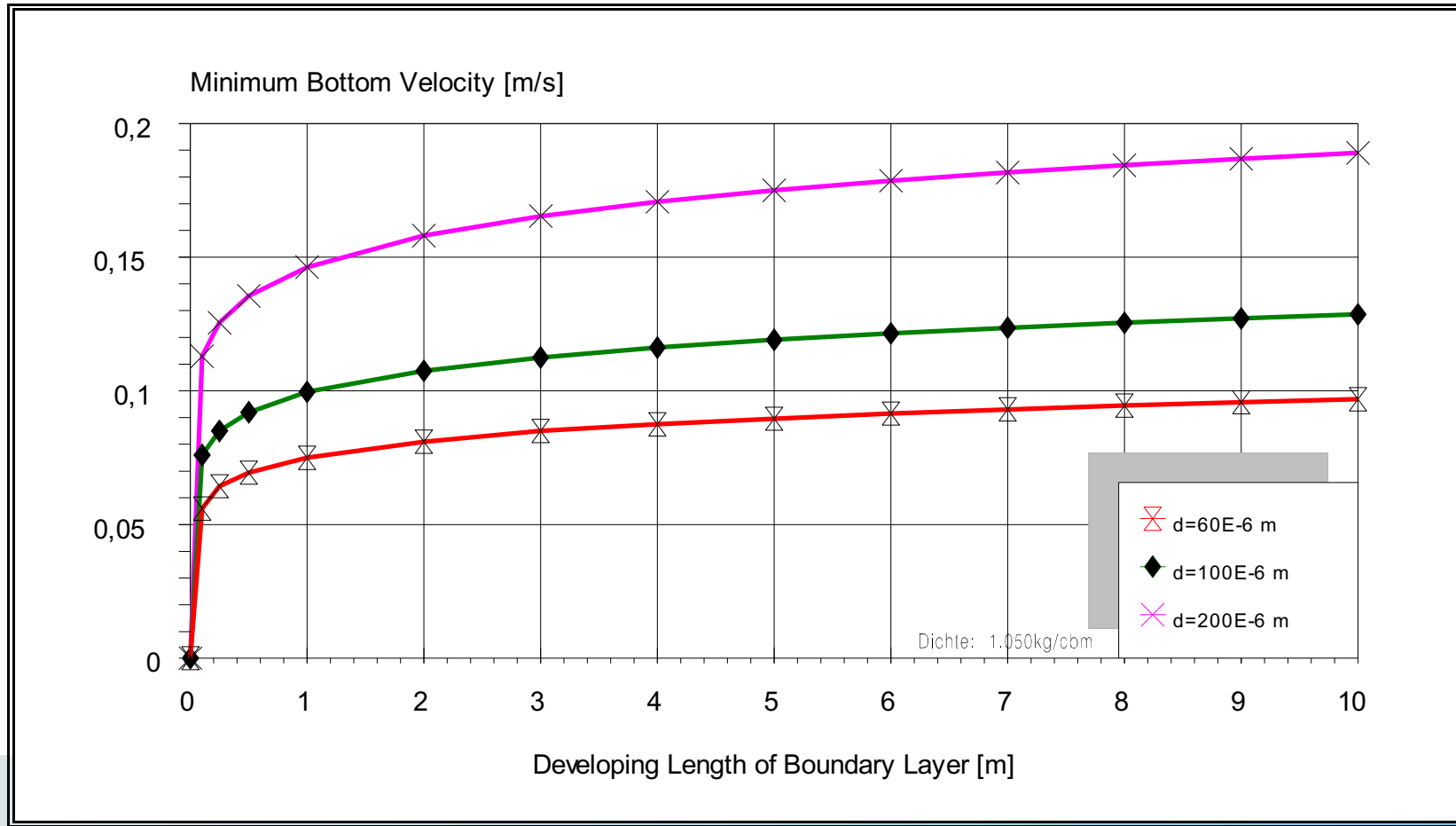
Diseño de la agitación

De todas las fórmulas y libros destacamos recordar el concepto de los flujos laminares y turbulentos que nos lo marca el número de Reynolds (Re) que viene afectado por longitud de desarrollo “l” de la capa límite.

La longitud “l” depende del diseño del agitador y del tamaño del tanque.

$$\text{Re}_l = \frac{l \cdot u_\infty}{\nu}$$

Diseño de la agitación



Diseño de la agitación

Según el documento VDMA 24656 (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau / Asociación de la Industria de Ingeniería Mecánica), la mezcla completa de un tanque de lodos activados se puede considerar eficaz si el 90% de los valores de medición (contenido de sólidos, ST) no se desvían más del 12% del valor promedio.

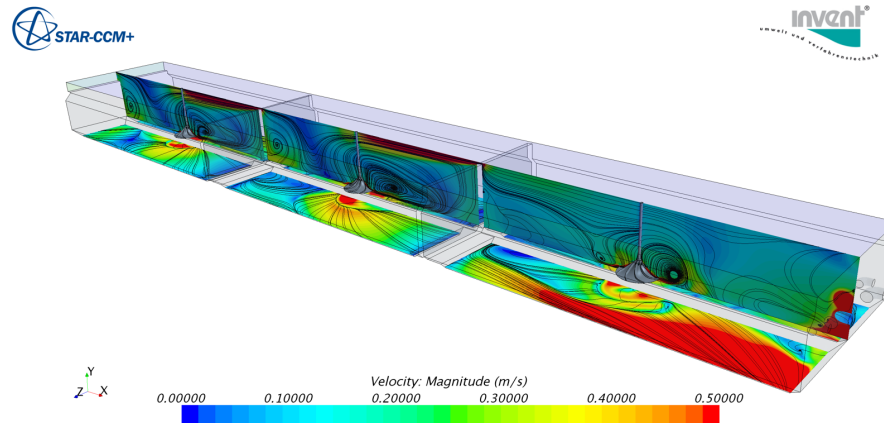
Se trata de la concentración homogénea de sólidos totales (ST) en el tanque.

Normalmente utilizando agitadores hiperbólicos se puede garantizar una desviación máxima de **±5%**

Diseño de la agitación

Se puede observar que las velocidades de flujo en el fondo de **15 cm/s** son sin duda suficientes para remover el lodo activado y mantenerlo en suspensión.

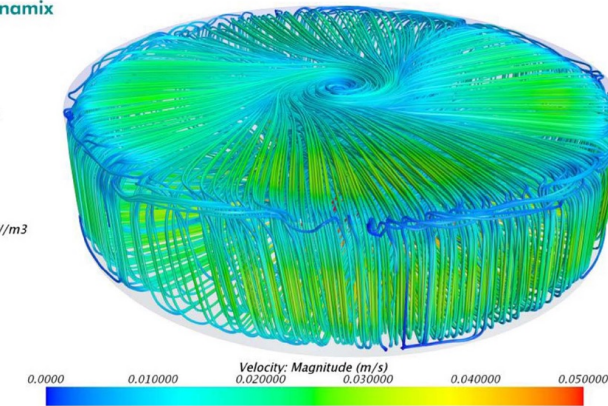
Velocidades en el fondo de **10 cm/s** también deberían ser suficientes, aunque sin ninguna protección contra fluctuaciones de las condiciones.



THINK Fluid Dynamix

HCM Evo7 Mixer D400
 $n = 242 \text{ rpm}$
 $P = 251 \text{ W}$
 Tank:
 $D = 34 \text{ m}$
 $H = 7.6 \text{ m}$
 $V = 6900 \text{ m}^3$
 Power density: 0.036 W/m^3

Z
 X Y



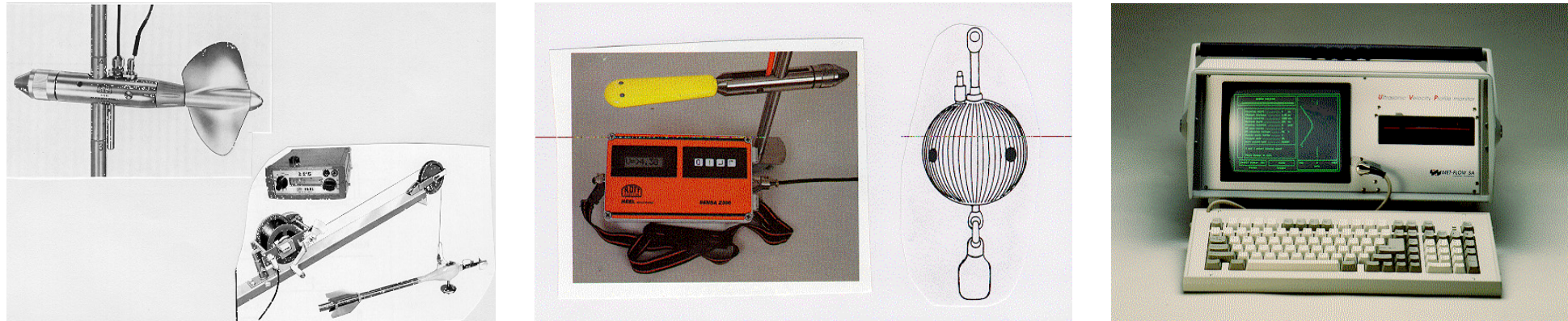
Diseño de la agitación

Las velocidades recomendadas para otros procesos:

<i>Proceso</i>	<i>Velocidad media típica en el fondo</i>
<i>Coagulación:</i>	≥ 130 cm/s
<i>Floculación:</i>	≥ 50 cm/s
<i>Ecualización:</i>	≥ 50 cm/s
<i>Anaerobio:</i>	≥ 30 cm/s
<i>Anóxico:</i>	≥ 30 cm/s
<i>MBBR:</i>	≥ 70 cm/s

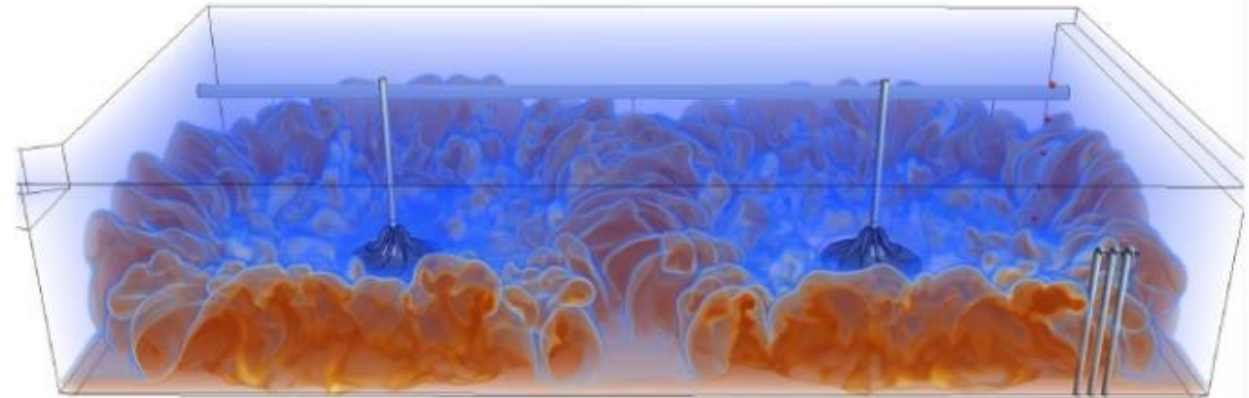
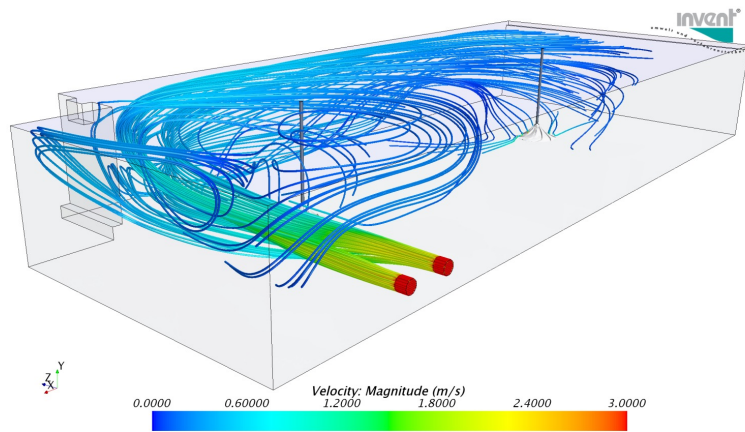
Diseño de la agitación

Hay técnicas de medida mecánica que emplean molinetes electromagnéticos que nos permiten obtener la medida en el canal a distintas profundidades.



También se pueden utilizar sistemas Láser Dópler, pero con agua limpia.

Diseño de la agitación



Para determinar el espectro del flujo completo en un tanque a gran escala, se puede emplear la dinámica de fluidos computacional (CFD). Cuanto más pequeño sea el tamaño de la malla numérica mejor se podrán simular los detalles del campo de flujo.

Consideraciones básicas

Agitadores en balsa rectangular

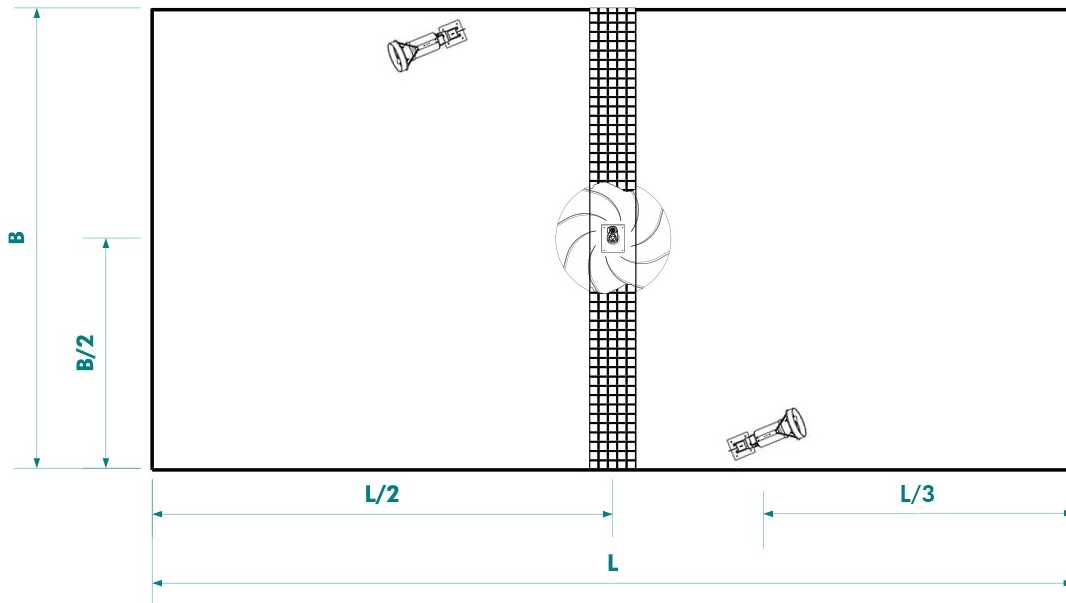
Para realizar una correcta selección del número de agitadores a instalar en una balsa rectangular, se deben emplear una serie de reglas básicas.

Cada fabricante asume unas dimensiones en función del tipo de agitador empleado.



Consideraciones básicas

Agitadores en balsa rectangular



Máx. largo/ancho de cada zona a agitar: 25 m

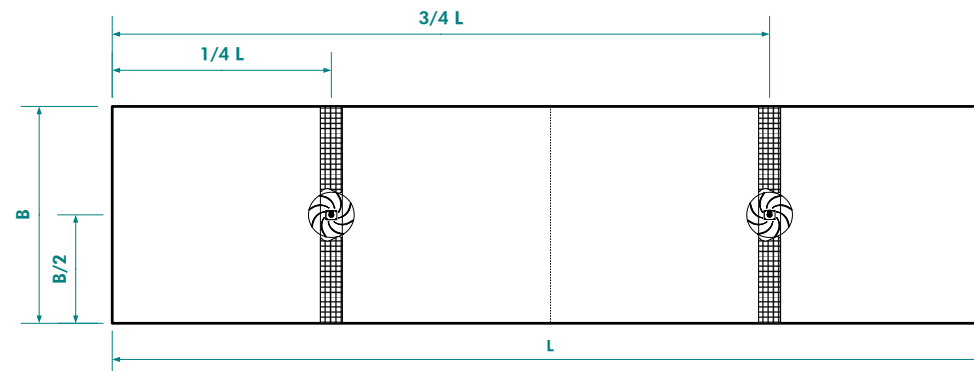
Máx. relación largo/ancho: 2.0 (3.0)

Min. relación lámina de agua/largo: 0.15

Consideraciones básicas

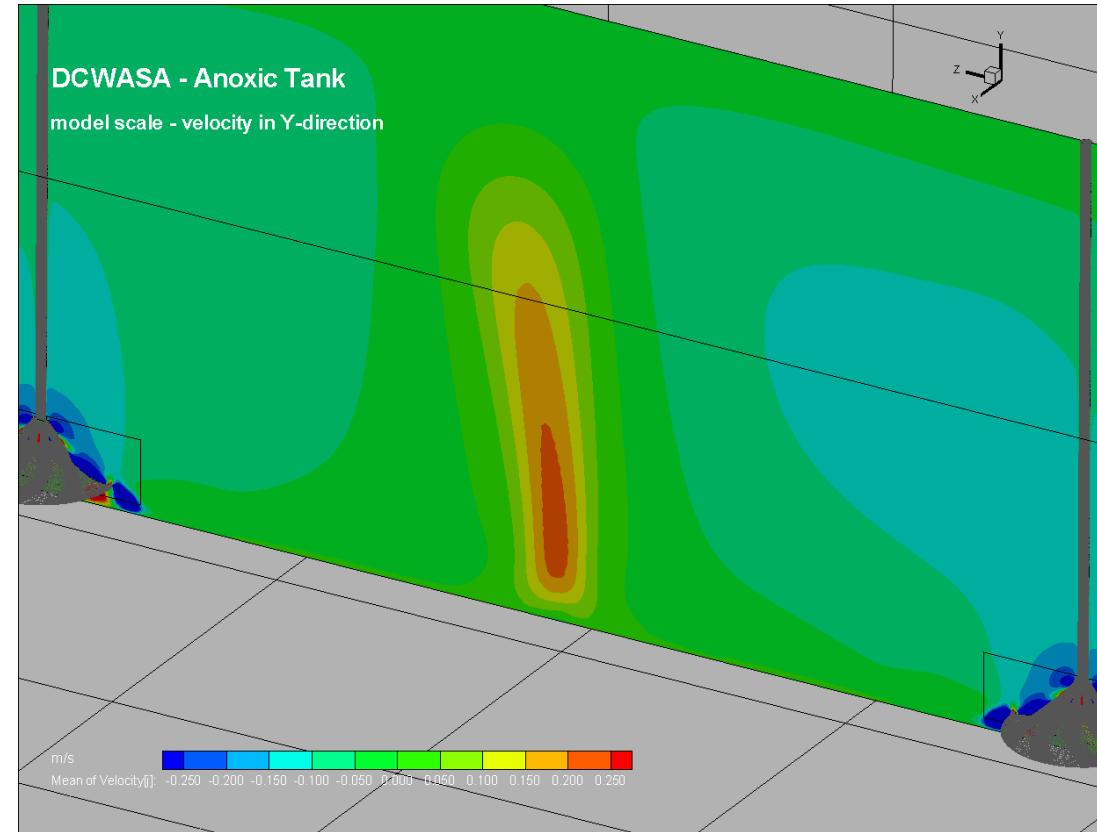
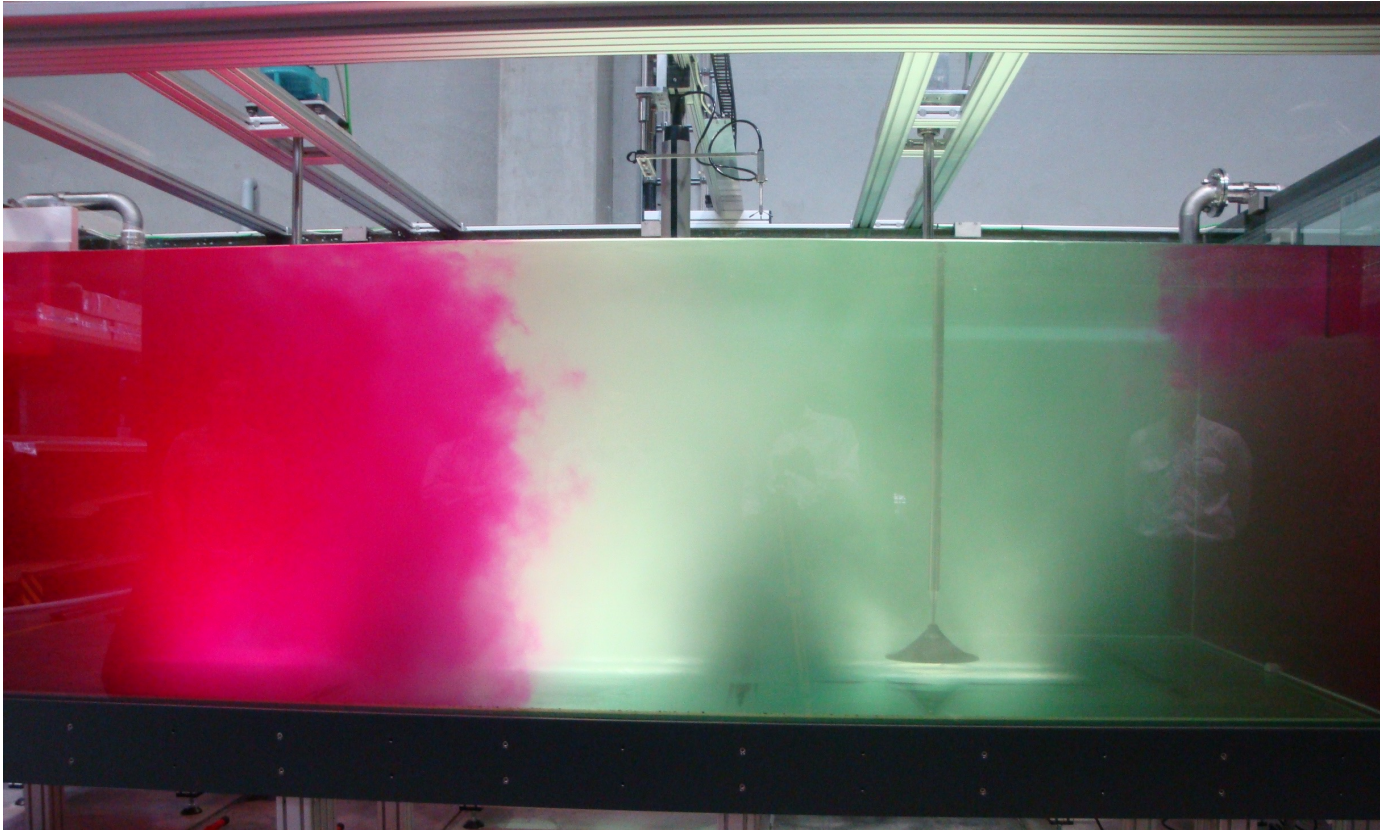
Agitadores en balsa rectangular

En las balsas rectangulares donde se hace necesario el uso de más de un agitador, la separación entre dos agitadores hace necesaria la generación de celdas separadas con tabiques de separación o mediante el uso de las denominadas “paredes virtuales”. Normalmente se colocan en el centro de cada celda.



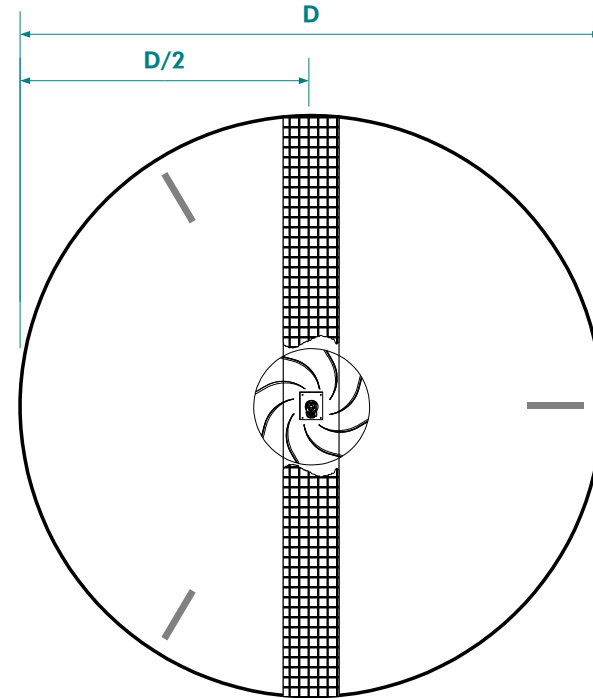
Consideraciones básicas

Formación de:



Consideraciones básicas

Agitadores en balsa cilíndrica



Consideraciones básicas

Para poder agitar en instalaciones con láminas de agua que oscilan se confirma la utilidad del agitador hiperbólico frente al uso de varios agitadores de flujo horizontal.



Consideraciones básicas

Cálculo del diámetro de los agitadores

Para realizar una correcta selección del número de agitadores a instalar en una balsa
Para alcanzar el equilibrio óptimo en la selección del diámetro más adecuado de cada tipo de agitador, se suele buscar el equilibrio entre el CAPEX inicial y el OPEX derivado del consumo energético y de los trabajos de mantenimiento.

Por norma general existen dos limitaciones que determinan la relación entre el tamaño del agitador y el de la balsa a agitar.

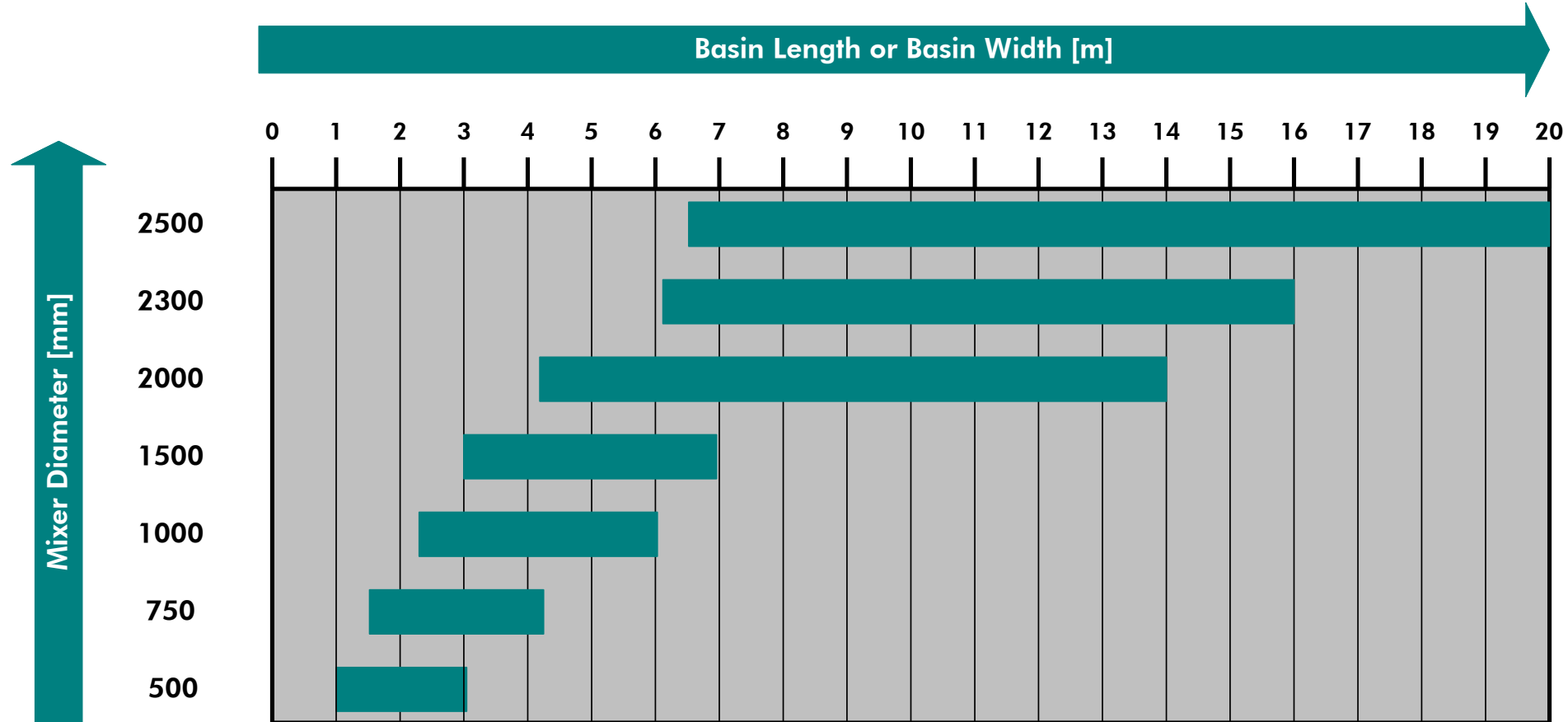
Consideraciones básicas

Cálculo del diámetro de los agitadores

Si la balsa está dividida en pequeñas zonas de agitación. Esta opción puede generar elevados CAPEX en la instalación, pero bajos OPEX energéticos.

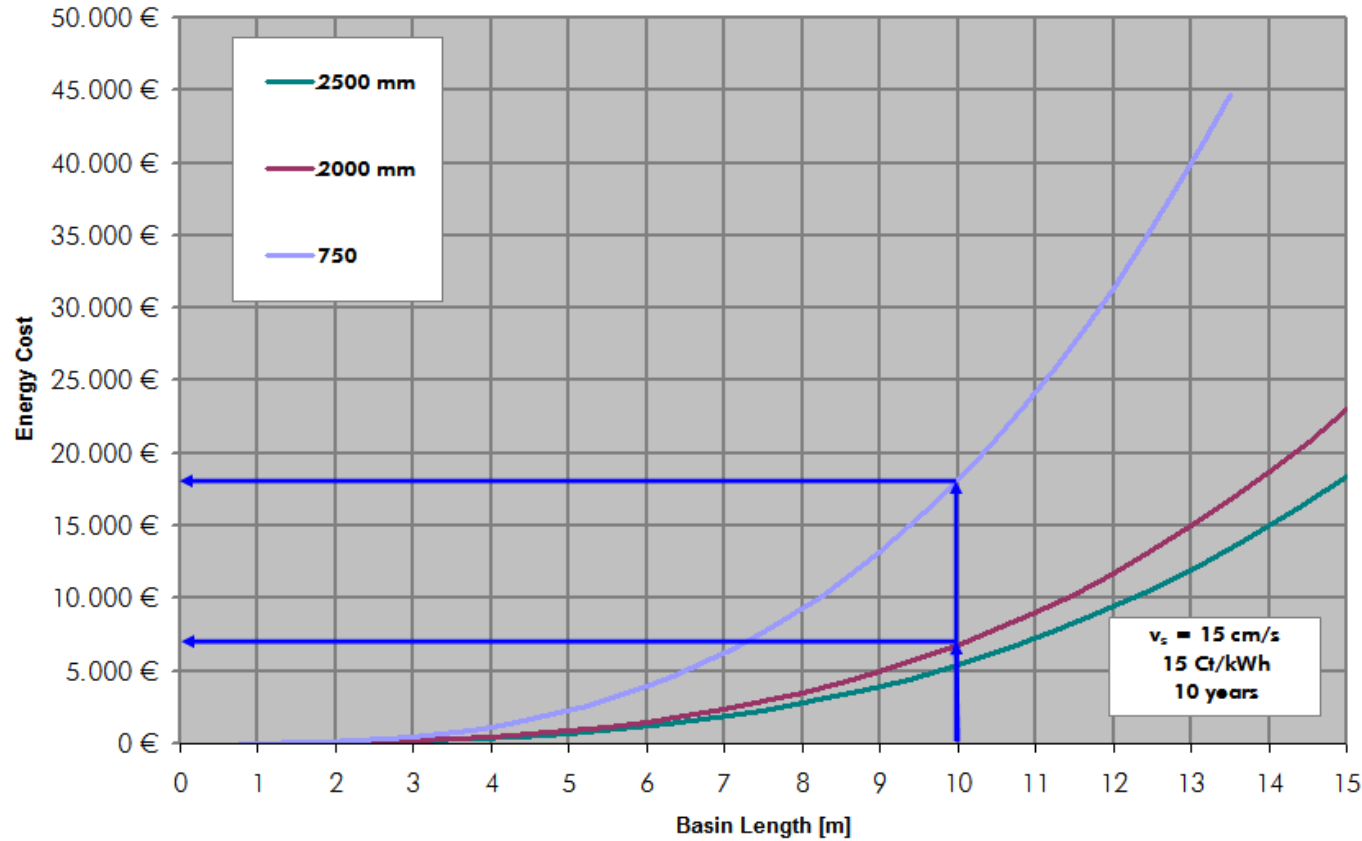
Utilizar pequeños agitadores en balsas grandes, en este caso el CAPEX de instalación es bajo pero los costes energéticos se disparan para obtener la agitación deseada.

Consideraciones básicas



Consideraciones básicas

Influence of the Mixer Diameter on the Energy Consumption



Consideraciones básicas



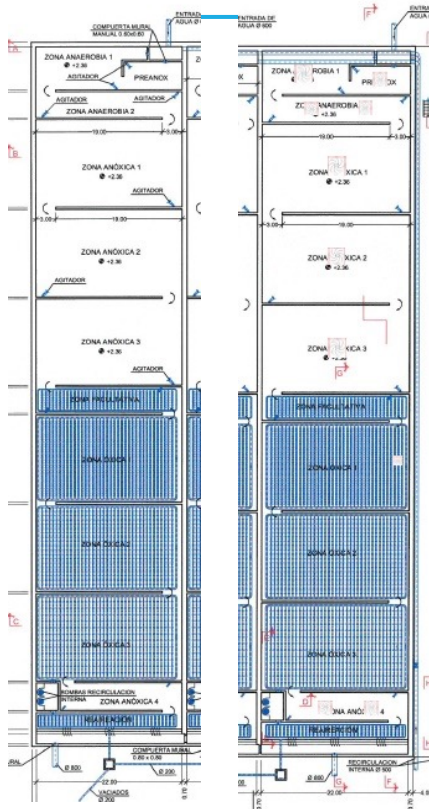
En muchas instalaciones ya conocedoras de la tecnología de agitadores hiperboloideos, se están reemplazando equipos con más de 20 años de antigüedad por evoluciones previas a equipos más nuevos con el considerable ahorro energético.

Consideraciones básicas

Comparación de costes para agitación de una zona anóxica con 2 agitadores:

	<i>Hélice</i>	<i>Hiperboloide</i>
<i>Ubicación del motorreductor</i>	<i>Sumergida</i>	<i>En seco</i>
<i>Tipo de transmisión</i>	<i>Helicoidal cilíndrica</i>	<i>Helicoidal de ejes paralelos</i>
<i>Cierre mecánico</i>	<i>Sumergido</i>	<i>n/a</i>
<i>Tipo de impulsor</i>	<i>Impulsor de 2 ó 3 palas</i>	<i>Hiperboloide</i>
<i>Diámetro del agitador</i>	<i>480 mm</i>	<i>2.500 mm</i>
<i>Velocidad de giro del agitador</i>	<i>276 rpm</i>	<i>21 rpm</i>

Consideraciones básicas



Vs



Zonas	Potencia instalada Por agitador (kW)	Consumo Total (6 líneas)	Potencia instalada Por agitador (kW)	Consumo Total (6 líneas)
Pre-Anóxica	3,0	12,3	0,55	2,58
Anaerobia 1	3,0	19,2	0,75	3,24
Anaerobia 2	3,0	38,4	0,55	5,16
Anóxica 1-3	7,5	126,7	3,0	52,20
Facultativa	4,0	43,9	0,55	5,16
Anóxica 4	3,0	38,4	0,55	5,16
		278,9 kW		73,5 kW

Comparación de costes energéticos.

Caso real con 6 líneas.

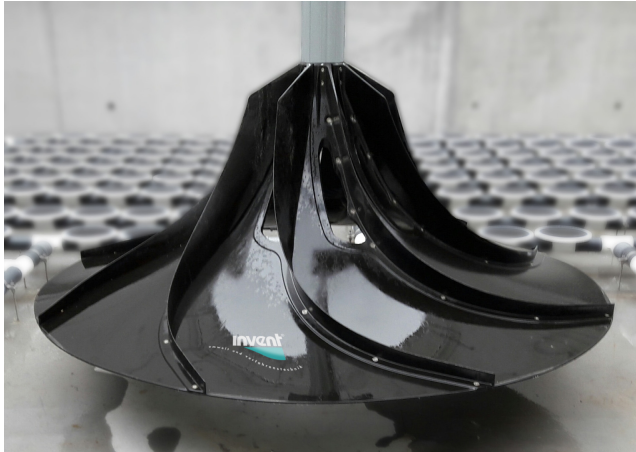
AHORRO

205,4 kW

AL DÍA 4.930,54 kWh

AL AÑO (0,1€/kWh) 179.964 €/año

Consideraciones básicas

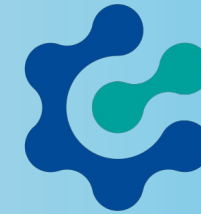


Intervención de otros elementos adicionales: **TODO CAMBIA**

- Caudales de aire de $20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- Velocidad de flujo oscilante entre $20 - 30 \text{ cm/s}$
- Las corrientes ascendentes de aire modifican el rendimiento



Formación de:



IBEROSPEC
environmental technologies

Muchas gracias

inigo.sanz@iberospec.com

I Ciclo de Formación en equipos de EDAR

