



UNIVERSIDAD DE GRANADA
E.T.S.I. DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

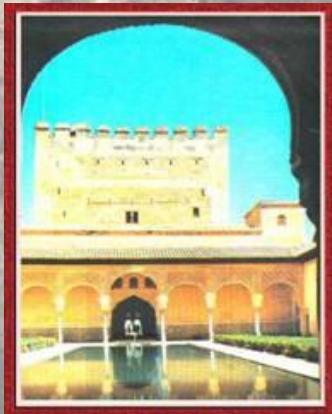
TRATAMIENTO DE AGUAS POTABLES *ETAPs*

FRANCISCO OSORIO ROBLES
Catedrático de Universidad
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
fosorio@ugr.es

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



- **Antigüedad:** Diversos vestigios arqueológicos (hititas, India, etc.)
- **Roma:** Concepto de practicidad
- **Edad Media en Europa:** retroceso
- **Árabes:** Nuevo impulso. Desarrolla el uso ornamental, frente al carácter de utilidad del romano
- **Edad Moderna (S. XVI-XVIII):** Desarrollo de la urbanización, deterioro de las condiciones
- **Revolución Industrial (S. XIX):** Masificación de las ciudades, Problemas sanitarios
- **Segunda mitad del siglo XIX:** Snow, Koch, Pasteur relacionan los microorganismos con las enfermedades sanitarias



**INGENIERÍA SANITARIA CLÁSICA
(Prevención de enfermedades)**

EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE INGENIERÍA SANITARIA



**PREOCUPACIÓN: ENTORNO
CERCANO AL HOMBRE**

INGENIERÍA SANITARIA

DESARROLLO SOSTENIBLE

**INGENIERÍA SANITARIA
Y AMBIENTAL**

NUEVOS CAMPOS DE TRABAJO:

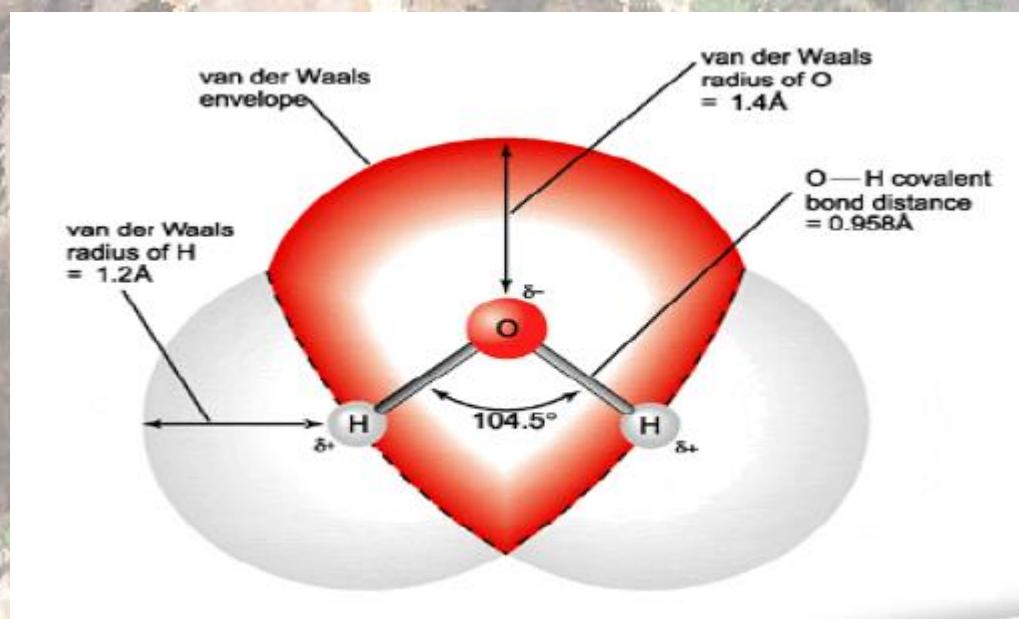
- LIMPIEZA VIARIA**
- RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**
- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**
- CONTAMINACIÓN SONORA**
- EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL**

HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS POTABLES

- Aspectos estéticos (turbidez) impulsaron los primeros tratamientos de agua
- El primer método de tratamiento utilizado de forma extendida fue la filtración (S. XVIII), aunque al principio el grado de claridad no era medible
- Segunda mitad del S.XIX: la turbidez no es un problema sólo estético, las partículas albergan patógenos
- Se introduce el cloro como el desinfectante más extendido (principios del S.XX)
- Pasado el ecuador del S. XX las regulaciones se hacen mucho más estrictas. Se descubren compuestos para los que los sistemas tradicionales de eliminación de contaminación orgánica no son efectivos: aeración, floculación o adsorción por carbono activo
- Hoy, la filtración y la desinfección con cloro siguen siendo técnicas eficaces
- Avances más importantes en los últimos años:
 - Incremento de la eficiencia de otros métodos de desinfección, como la ozonización (ya usada desde principios de siglo) o los UV
 - Desarrollo de las membranas
 - Descubrimiento reciente de numerosos contaminantes más complejos

INTRODUCCIÓN

→ La molécula de agua tiene una estructura dipolar, con separación de cargas positivas y negativas, debido a la diferencia de electronegatividades entre el oxígeno y el hidrógeno



El Agua, por su carácter dipolar, tiene un poder disolvente importante; de forma natural, el agua contiene diferentes materias, de naturaleza orgánica e inorgánica

INTRODUCCIÓN

→ CONTENIDO DEL AGUA

- SÓLIDOS SUSPENDIDOS
- MATERIA ORGÁNICA
- MINERALES, MATERIA INORGÁNICA
- MATERIA VIVA
- GASES
- SALES DISUELTA
- MICROCONTAMINANTES

→ ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN: Natural o Antropogénico

→ ALGUNOS CONTAMINANTES ESPECÍFICOS DEL AGUA

- Microorganismos: Bacterias, Virus, Protozoos,...
- Fe, Mn, NH₄, H₂S, As (típicos en Aguas Subterráneas)
- Pesticidas, Herbicidas, Cianotoxinas
- Ácidos húmicos y fúlvicos (mat. orgánica en aguas superficiales)
- Subproductos de la Desinfección u otros tratamientos en ETAPs
- Metales pesados, Cloruro de vinilo (PVC)

AGUA DE PARTIDA Y RESULTADOS A OBTENER

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE AGUAS ÚTILES COMO RECURSOS HÍDRICOS.

Parámetro	Agua de Pozo	Agua de Río	Agua salobre	Agua de mar
Color	Clara	Turbia	-	-
Conductividad µS/cm	580	400-1000	2500	30.000 – 50.000
pH	7.0 – 9.0	7.0 – 8.0	7.0 – 8.0	7.0 – 8.0
Ca ²⁺ mg/l	250	100	60	350
Mg ²⁺ mg/l	75	25	73	1330
Na ⁺ mg/l	25	200	300	10.300
Cl ⁻ mg/l	40	125	500	20.500
HCO ₃ ⁻ mg/l	250	100	25	170
NO ₃ ⁻ mg/l	30	5 – 10	-	-
Turbidez UNT	3 – 4	15 – 25	5	-
Coliformes ufc/100 ml	< 1	100 – 20.000	-	-

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

- Se controlan hasta 60 parámetros analíticos.
- Determina la frecuencia de los muestreos

LEGISLACIÓN

DIRECTIVA DEL CONSEJO 75/440/CEE, DE 16 DE JUNIO DE 1975, RELATIVA A LA CALIDAD REQUERIDA PARA LAS AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN LOS ESTADOS MIEMBROS

ANEXO NUMERO 1:

Calidad exigida a las aguas superficiales que sean destinadas a la producción de agua potable:

I. Las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano quedan clasificadas en los tres grupos siguientes, según el grado de tratamiento que deben recibir para su potabilización.

Tipo A1. Tratamiento físico simple y desinfección (p. ej.: filtración rápida y desinfección)

Tipo A2. Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección (p.ej.: precloración, coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección - cloración final)

Tipo A3. Tratamiento físico y químico intensivos, afino y desinfección (p.ej.: PREcloración hasta el «break point», coagulación, floculación, decantación, filtración, afino -carbono activo- y desinfección -ozono, cloración final)

LEGISLACIÓN

Parámetro	Unidad	Tipo A1 (6,5-8,5)	Tipo A2 (5,5-9)	Tipo A3 (5,5-9)
pH	-			
Color (O)	Escala Pt	20	100	200
Sólidos en suspensión	mg/l	(25)	-	-
Temperatura (O)	°C	25	25	25
Conductividad a	µS/cm	(1.000)	(1.000)	(1.000)
Nitratos (O) (*)	mg/l NO ₃	50	50	50
Fluoruros (1)	mg/l F	1,5	(0,7/1,7)	(0,7/1,7)
Hierro disuelto	mg/l Fe	0,3	2	(1)
Manganoso	mg/l Mn	(0,05)	(0,1)	(1)
Cobre	mg/l Cu	0,05 (O)	(0,05)	(1)
Zinc	mg/l Zn	3	5	5
Boro	mg/l B	(1)	(1)	(1)
Arsénico	mg/l As	0,05	0,05	0,1
Cadmio	mg/l Cd	0,005	0,005	0,005
Cromo total	mg/l Cr	0,05	0,05	0,05
Plomo	mg/l Pb	0,05	0,05	0,05
Selenio	mg/l Se	0,01	0,01	0,01
Mercurio	mg/l Hg	0,001	0,001	0,001
Bario	mg/l Ba	0,1	1	1
Cianuros	mg/l CN	0,05	0,05	0,05
Sulfatos (**) (2)	mg/l SO ₄	250	250 (O)	250 (O)
Cloruros (**) (2)	mg/l Cl	(200)	(200)	(200)
Detergentes	mg/l (lauril-sulfato)	(0,2)	(0,2)	(0,5)
Fosfatos (**) (2)	mg/l P ₂ O ₅	(0,4)	(0,7)	(0,7)
Fenoles	mg/l C ₆ H ₅ OH	0,001	0,005	0,1
Hidrocarburos disueltos o emulsionados (tras extracción en éter de petróleo)	mg/l	0,05	0,2	1
Carburos aromáticos policíclicos	mg/l	0,0002	0,0002	0,001
Plaguicidas totales DQO (*)	mg/l O ₂	0,001	0,0025	0,005 (30)
Oxígeno disuelto (*)	% satur	(70)	(50)	(30)
DBO5 (*)	mg/l O ₂	(3)	(5)	(7)
Nitrogeno Kjedahl	mg/l N	(1)	(2)	(3)
Amoniaco	mg/l NH ₄	(0,05)	1,5	4 (O)
Sustancias extraíbles con cloroformo	mg/l SEC	(0,1)	(0,2)	(0,5)
Coliformes totales a	100 ml	(50)	(5.000)	(50.000)
Coliformes fecales	100 ml	(20)	(2.000)	(20.000)
Estreptococos fecales	100 ml	(20)	(1.000)	(10.000)
Salmonellas		Ausente en 5.000 ml	Ausente en 1.000 ml	

LEGISLACIÓN

REAL DECRETO 3/2023, DE 10 DE ENERO, POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS TÉCNICO-SANITARIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO, SU CONTROL Y SUMINISTRO.

CONCEPTOS Y DEFINICIONES

- **Concepto de agua de consumo frente a agua potable** (ya en el RD 140/2003)
- **Desaparece el concepto de nivel guía** (ya en el RD 140/2003). **Se define el concepto de nivel paramétrico:** el nivel máximo o mínimo fijado para cada uno de los parámetros a controlar.
- **Estación de tratamiento de agua potable (ETAP):** Conjunto de procesos unitarios de tratamiento de potabilización, situados antes de la red de distribución y/o depósito de cabecera, que contenga más procesos unitarios de tratamiento que la filtración y desinfección. Incluidas las desalinizadoras (IDAM) y las plantas de tratamiento de abastecimientos propios no conectados a la red de distribución pública.
- **Depósito de distribución o regulación:** Aquel cuya finalidad sea almacenar, regular y/o distribuir el agua de consumo, ubicado en el tramo inicial o tramos intermedios de la red de distribución.

LEGISLACIÓN

- **Red de distribución:** conjunto de tuberías diseñadas para la distribución del agua de consumo desde la ETAP o desde los depósitos de cabecera o distribución o regulación hasta la acometida del usuario
- **Acometida:** tubería y elementos que enlazan la instalación general del edificio o red interior con la red de distribución exterior de suministro. Siendo el punto de entrega al titular de la instalación interior o edificio, el grifo o racor de prueba del armario o arqueta de contadores tras la llave de corte general en el exterior del edificio.
- **Instalación Interior:** conjunto de tuberías, conexiones, depósitos, accesorios y aparatos, situados tras la acometida y cuya responsabilidad es del titular o propietario de la instalación y no del operador de la red de distribución. La instalación interior comprende, en su caso, la instalación general del edificio y las instalaciones particulares interiores.
- **Valor paramétrico:** nivel máximo o mínimo fijado para cada uno de los parámetros a controlar.
- **Valor paramétrico para las sustancias radiactivas:** valor de las sustancias radiactivas en aguas de consumo por encima del cual se evaluará si la presencia de sustancias radiactivas supone un riesgo para la salud humana que exige tomar medidas y, si es necesario, adoptar medidas correctoras para mejorar la calidad del agua hasta situarla en un nivel que cumpla los requisitos desde el punto de vista de la protección radiológica.

LEGISLACIÓN

- **Valor de referencia:** nivel máximo o mínimo de parámetros que no tienen definido un valor paramétrico.
- **Zona de abastecimiento:** área geográficamente definida y censada por la autoridad sanitaria, no superior al ámbito provincial, en la que el agua de consumo provenga de una o varias captaciones y cuya calidad de las aguas distribuidas pueda considerarse homogénea en la mayor parte del año e incluye todo el conjunto de instalaciones desde la toma de captación, conducción, tratamiento de potabilización, almacenamiento, transporte y distribución del agua de consumo hasta las acometidas o punto de entrega a los usuarios.
- Los tipos de zonas de abastecimiento (ZA) se clasificarán en función del volumen de agua suministrada por día (tipos: 0-6).
- **Dotación mínima:** 100 l/hab/d
- **Lista de observación** de contaminantes de preocupación emergente que se consideran un riesgo para la salud

LEGISLACIÓN

➤ Tipos de control:

- Autocontrol: realizado por el operador responsable de la zona de abastecimiento, pública o privada, o parte de esta;
 - Vigilancia municipal: realizado por la administración local, en el grifo del usuario;
 - Control en edificios prioritarios: realizado por el titular del local prioritario
 - Vigilancia sanitaria: realizado por la autoridad sanitaria;
 - Vigilancia en las zonas de captación: realizado por la administración hidráulica o la administración competente en el caso de aguas costeras y marítimas;
 - Vigilancia en buques: realizado por el titular del buque.
-
- **Muestreos, laboratorios, métodos de análisis, incidencias, certificaciones, materiales en contacto con el agua, SINAC e Información al ciudadano**

 - **Regulación de elementos de la zona de abastecimiento:** Captación, conducciones, suministro mediante cisternas y depósitos móviles, potabilización, depósitos, red de distribución, instalaciones interiores, edificios prioritarios, control de fugas

LEGISLACIÓN

➤ **Sobre potabilización:**

- Para tomas de captación nuevas o existentes, antes de ser distribuida deberá tener, antes de la desinfección, al menos, una filtración por arena, u otro medio filtrante apropiado en los siguientes casos:
 - Captaciones superficiales y aguas de manantial;
 - Captaciones subterráneas cuando la calidad del agua captada tenga una turbidez mayor 1 Unidad Nefelométrica de Turbidez (UNF) en más del 5% de las muestras anuales;
 - Cuando la autoridad sanitaria lo considere necesario, de acuerdo con la evaluación del riesgo.
- Siempre que sea posible, el sistema de filtración debe diseñarse para reducir los niveles de turbidez lo más bajo posible, con el objetivo de que la turbidez del agua tratada sea inferior a 0,8 UNF
- Cuando el operador pueda probar que no hay riesgo de contaminación o crecimiento microbiano a lo largo de toda la red de distribución hasta el grifo del usuario, podrá solicitar a la autoridad sanitaria, la exención de contener desinfectante residual o la exención de no filtrar el agua, siempre que la turbidez del agua en la entrada del tratamiento, sea menor a 1 UNF en el 100% de las determinaciones en los últimos diez años

➤ **Evaluación y gestión del riesgo: Plan Sanitario del Agua (PSA), en zonas de abastecimiento y Edificios prioritarios**

LEGISLACIÓN

REAL DECRETO 3/2023, DE 10 DE ENERO, POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS TÉCNICO-SANITARIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO, SU CONTROL Y SUMINISTRO

ANEXO I.- Requisitos del Agua: Parámetros y valores paramétricos

A. Parámetros microbiológicos.

	Parámetro	Valor Paramétrico	Unidad	Nota
1	<i>Escherichia coli.</i>	0	UFC o NMP en 100 ml	
2	<i>Enterococo intestinal.</i>	0	UFC o NMP en 100 ml	
3	<i>Clostridium perfringens</i> (incluidas las esporas).	0	UFC en 100 ml	1
4	<i>Legionella</i> spp.	100	UFC en 1 L	2 y 3

Notas (3)

LEGISLACIÓN

B. Parámetros químicos.

	Parámetro	Valor Paramétrico	Unidad	Nota
5	Acrilamida (CAS 79-06-01).	0,10	µg/L	1
6	Antimonio.	10	µg/L	
7	Arsénico.	10	µg/L	
8	Benceno (CAS 71-43-2).	1,0	µg/L	
9	Benzo(a)pireno (CAS 50-32-8).	0,010	µg/L	
10	Bisfenol a (CAS 80-05-7).	2,5	µg/L	
11	Boro.	1,5	mg/L	2
12	Bromato.	10	µg/L	
13	Cadmio.	5,0	µg/L	
14	Cianuro total.	50	µg/L	
15	Clorato.	0,25	mg/L	3
16	Clorito.	0,25	mg/L	3
17	Cloruro de Vinilo (CAS 75-01-4).	0,50	µg/L	1
18	Cobre.	2,0	mg/L	
19	Cromo total.	25	µg/L	4
20	1,2-Dicloroetano (CAS 107-06-2).	3,0	µg/L	
21	Epiclorhidrina (CAS 106-89-8).	0,10	µg/L	1

	Parámetro	Valor Paramétrico	Unidad	Nota
22	Fluoruro.	1,5	mg/L	
23	Mercurio.	1,0	µg/L	
24	Microcistina – LR.	1,0	µg/L	5
25	Níquel.	20	µg/L	
26	Nitrato.	50	mg/L	6
27	Nitritos.	0,50	mg/L	6 y 7
28	Plaguicida individual.	0,10	µg/L	8 y 9
29	Plomo.	5,0	µg/L	10
30	Selenio.	20	µg/L	11
31	Urano.	30	µg/L	
	Parámetros sumatorios (Nota 19):			
32	$\Sigma 5$ Ácidos Haloacéticos (HAH).	60	µg/L	12
33	$\Sigma 4$ Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA).	0,10	µg/L	13
34	$\Sigma 20$ PFAS.	0,10	µg/L	14 y 15
35	Σn Plaguicidas totales.	0,50	µg/L	16
36	$\Sigma 2$ Tricloroeteno + Tetracloroeteno.	10	µg/L	17
37	$\Sigma 4$ Trihalometanos (THM).	100	µg/L	18

Notas (19)

LEGISLACIÓN

C. Parámetros indicadores.

	Parámetro	Valor Paramétrico	Unidad	Nota
38	Bacterias coliformes.	0	UFC o NMP / 100 ml	1
39	Recuento de colonias a 22 °C.	100	UFC / 1 ml	2
40	Colífagos somáticos.	0	UFP / 100 ml	3
41	Aluminio.	200	µg/L	4
42	Amonio.	0,50	mg/L	5
43	Carbono Orgánico total.	5,0	mg/L	6
44	Cloro combinado residual.	2,0	mg/L	7
45	Cloro libre residual.	1,0	mg/L	8
46	Cloruro.	250	mg/L	9
47	Conductividad.	2500	µS/cm a 20 °C	10
48	Hierro.	200	µg/L	11
49	Manganese.	50	µg/L	12
50	Oxidabilidad.	5,0	mg/L	13
51	pH.	6,5 a 9,5	Unidades pH	14
52	Sodio.	200	mg/L	15
53	Sulfato.	250	mg/L	16
54	Turbidez.	4,0	UNF	17
55	Índice de Langelier.	+/- 0,5	Unidades de pH	18

Notas (18)

D. Características organolépticas.

	Parámetro	Valor de referencia	Unidad	Nota
56	Color	15	mg/L Pt/Co	
57	Olor	3	Índice dilución	
58	Sabor	3	Índice dilución	

Notas (1)

LEGISLACIÓN

E. Sustancias radiactivas.

	Parámetro	Valor Paramétrico	Unidad	Nota
59	Actividad alfa total.	0,1	Bq/L	1
60	Actividad beta resto.	1,0	Bq/L	1
61	Radón.	500	Bq/L	2, 3
62	Tritio.	100	Bq/L	4
63	Dosis Indicativa (Σ radionucleidos) DI.	0,10	MSv	5 y 6

Notas (6)

Además, se incluyen Valores para los radionucleidos naturales y artificiales más comunes

F. Caracterización de las aguas.

	Parámetro	Valor de referencia	Unidad	Nota
64	Calcio.	100	mg/L	
65	Dureza total.	500	mg/L CaCO ₃	1
66	Magnesio.	30	mg/L	
67	Potasio.	10	mg/L	

Notas (1)

LEGISLACIÓN

REAL DECRETO 3/2023, DE 10 DE ENERO, POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS TÉCNICO-SANITARIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO, SU CONTROL Y SUMINISTRO

- ✓ ***Tipos control → Análisis a realizar (frecuencia y parámetros incluidos diferentes)***
 - Control de rutina
 - Análisis de control
 - Análisis completo
 - Control de radiactividad
 - Control operacional
 - Caracterización del agua
 - Control en grifo
 - Control en buque

LEGISLACIÓN

Cambios relevantes con respecto al RD140/2003

01	MODELO EN LA EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS: PSA	<ul style="list-style-type: none">ZA>50mhab antes de julio 2020 (RD 902/2018).Todas las Zonas de Abastecimiento: 2022-2026.
02	FRECUENCIAS	<ul style="list-style-type: none">Sin incrementos significativos en número de muestras pero aumento de carga analítica en microbiología y compuestos orgánicos
03	MODIFICACIÓN DE PARÁMETROS Y VALORES PARAMÉTRICOS	<ul style="list-style-type: none">Nuevos parámetros y modificación de Valores paramétricos (VPs).Microplásticos serán introducidos en <i>Lista de Observación</i> (aguas naturales, 2024).
04	INSTALACIONES RED	<ul style="list-style-type: none">Turbidez a salida de planta: >10.000 m³/día medidores on line. Límite objetivo: 0,3 NTU para 95% de medidasObligatoriedad de instalar filtros de arena en captaciones superficiales y en >1 UNF antes enero 2024Informe favorable de Sanidad antes de la construcción de infraestructuras (tuberías >1 km, depósitos)Limpieza y desinfección depósitos al menos cada 3 años si V<10.000 m³ y acordar con Sanidad para mayores
05	INSTALACIONES INTERIORES: (plomo, legionella)	<ul style="list-style-type: none">Reducción VP de Pb (5 µg/l), cumplimiento antes de 2035Inclusión de <i>Legionella</i> en instalaciones interiores (edificios prioritarios). Aparece VP
06	INFORMACIÓN	<ul style="list-style-type: none">Mayor nivel de transparencia e información al ciudadano (SINAC, web, factura)Nuevo reporte controles a SINAC: controles de rutina y operacionales
07	MATERIALES EN CONTACTO CON AGUA Y SUSTANCIAS TRATAMIENTO.	<ul style="list-style-type: none">Sistema Europeo de Homologación de Materiales y Sustancias (Artículo 44 y Anexo IX).
08	ACCESO AL AGUA	<ul style="list-style-type: none">Medidas que aseguren el acceso al agua para toda la poblaciónPolíticas que fomenten el consumo de agua de grifo
09	EVALUACIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES	<ul style="list-style-type: none">Evaluación de los niveles de fugas estructuralesCálculo indicadores: Eficiencia red/ANR y IFEInclusión de aspectos relacionados con las fugas en los Protocolos de Autocontrol y en los PSA

LEGISLACIÓN

REAL DECRETO 140/2003, DE 7 DE FEBRERO, POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS SANITARIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO.

CONCEPTOS Y DEFINICIONES

- **Abastecimiento:** conjunto de instalaciones para la captación de agua, conducción, tratamiento de potabilización de la misma, almacenamiento, transporte y distribución del agua de consumo humano hasta las acometidas de los consumidores, con la dotación y calidad previstas en esta disposición.
- **Se crea el concepto de agua de consumo humano frente a agua potable**
- **Desaparece el concepto de nivel guía. Se define el concepto de nivel paramétrico:** el nivel máximo o mínimo fijado para cada uno de los parámetros a controlar.
- **Estación de tratamiento de agua potable (ETAP):** conjunto de procesos de tratamiento de potabilización situados antes de la red de distribución y/o depósito, que contenga más unidades que la desinfección (Nota.- Es obligatorio que todas las aguas distribuidas por redes públicas sean desinfectadas).
- **Conducción:** cualquier canalización que lleva el agua desde la captación hasta la ETAP o, en su defecto, al depósito de cabecera.

LEGISLACIÓN

REAL DECRETO 140/2003, DE 7 DE FEBRERO, POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS SANITARIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO.

CONCEPTOS Y DEFINICIONES

- **Depósito:** todo receptáculo o aljibe cuya finalidad sea almacenar agua de consumo humano ubicado en la cabecera o en tramos intermedios de la red de distribución.
- **Red de distribución:** conjunto de tuberías diseñadas para la distribución del agua de consumo humano desde la ETAP o desde los depósitos hasta la acometida del usuario.
- **Acometida:** la tubería que enlaza la instalación Interior del inmueble y la llave de paso correspondiente con la red de distribución.
- **Instalación Interior:** el conjunto de tuberías, depósitos, conexiones y aparatos instalados tras la acometida y la llave de paso correspondiente que enlaza con la red de distribución.

➤ **Competencias: Municipios**

Los municipios son responsables de asegurar que el agua suministrada a través de cualquier red de distribución, cisterna o depósito móvil en su ámbito territorial sea apta para el consumo en el punto de entrega al consumidor.

Por lo tanto, son responsables de todo: gestión, tratamiento, control, etc.

LEGISLACIÓN

REAL DECRETO 140/2003, DE 7 DE FEBRERO, POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS SANITARIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO.

CONCEPTOS Y DEFINICIONES

- **Punto de cumplimiento de calidad:** En el punto de consumo (IMP.- NO sólo a la salida del tratamiento). El incumplimiento de 1 parámetro implica calificación de NO APTA.
- **Tipos de control:**
 - Autocontrol del agua de consumo humano
 - Examen organoléptico
 - Análisis de control
 - Análisis completo
 - Vigilancia sanitaria.
 - Control del agua en grifo del consumidor.

Se define la **frecuencia** obligatoria para cada uno de estos controles y el **número mínimo de muestras** en función del volumen de agua tratada, así como el **método analítico de los ensayos**. Las muestras las analizan **Laboratorios Acreditados** por la Dirección General de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo. Se crea el **SINAC**: Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo

LEGISLACIÓN

REAL DECRETO 140/2003, DE 7 DE FEBRERO, POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS SANITARIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO.

ANEXO I.- Requisitos del Agua: Parámetros y valores paramétricos

Como mínimo debe cumplir con los requisitos de las partes A, B y D

A. Parámetros microbiológicos.

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
1. Escherichia coli	0 UFC en 100 ml	
2. Enterococo	0 UFC en 100 ml	
3. Clostridium perfringens (incluidas las esporas)	0 UFC en 100 ml	1 y 2

Notas:

(1) Cuando la determinación sea positiva y exista una turbidez mayor 5 UNF se determinarán, en la salida de ETAP o depósito, si la autoridad sanitaria lo considera oportuno, *Cryptosporidium* u otros microorganismos o parásitos.

(2) Hasta el 1 de enero de 2004 se podrá determinar *Clostridium* sulfito reductor en vez de *Clostridium perfringens*. Las condiciones descritas en la nota 1 y el valor paramétrico serán los mismos para ambos.

LEGISLACIÓN

ANEXO I.- Requisitos del Agua: Parámetros y valores paramétricos

Como mínimo debe cumplir con los requisitos de las partes A, B y D

B.1 Parámetros químicos.- Incluye 27 parámetros y 8 Notas.

Parámetro	Valor paramétrico	Notas	Parámetro	Valor paramétrico	Notas
4. Antimonio	5,0 µg/l		18. Microcistina	1 µg/l	2
Hasta el 31/12/2003	10,0 µg/l		Hasta el 31/12/2003	µg/l	
5. Arsénico	10 µg/l		19. Níquel	20 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	50 µg/l		Hasta el 31/12/2003	50 µg/l	
6. Benceno	1,0 µg/l		20. Nitrato	50 mg/l	3
Hasta el 31/12/2003	µg/l		21. Nitritos:		3 y 4
7. Benzo(a)pireno	0,010 µg/l		Red de distribución	0,5 mg/l	
8. Boro	1,0 mg/l		En la salida de /depósito	0,1 mg/l	
9. Bromato:		1	22. Total de plaguicidas	0,50 µg/l	5 y 6
A partir de 01/01/2009	10 µg/l		23. Plaguicida individual	0,10 µg/l	6
De 01/01/2004 a 31/12/2008	25 µg/l		Excepto para los casos de:		
Hasta el 31/12/2003	µg/l		Aldrán	0,03 µg/l	
10. Cadmio	5,0 µg/l		Dieldrín	0,03 µg/l	
11. Cianuro	50 µg/l		Heptacloro	0,03 µg/l	
12. Cobre	2,0 mg/l		Heptacloro epóxido	0,03 µg/l	
13. Cromo	50 µg/l		24. Plomo:		
14, 1,2-Dicloroetano	3,0 µg/l		A partir de 01/01/2014 10	µg/l	
Hasta el 31/12/2003	µg/l		De 01/01/2004 a 31/12/2013	25 µg/l	
15. Fluoruro	1,5 mg/l		Hasta el 31/12/2003	50 µg/l	
16. Hidrocarburos Polícílicos Aromáticos (HPA)	0,10 µg/l		25. Selenio	10 µg/l	
Suma de:			26. Trihalometanos (THMs):		
Benzo(b)fluoranteno	µg/l		Suma de:		7 y 8
Benzo(ghi)perileno	µg/l		A partir de 01/01/2009	100 µg/l	
Benzo(k)fluoranteno	µg/l		De 01/01/2004 a 31/12/2008	150 µg/l	
Indeno(1,2,3cd)pireno	µg/l		Hasta el 31/12/2003	µg/l	
17. Mercurio	1,0 µg/l		Bromodicitrómico	µg/l	
			Bromoformo	µg/l	
			Cloroformo	µg/l	
			Dibromoclorometano	µg/l	
			27. Tricloroeteno + Tetracloroeteno	10 µg/l	
			Hasta el 31/12/2003	µg/l	
			Tetracloroeteno	µg/l	
			Tricloroeteno	µg/l	

LEGISLACIÓN

REAL DECRETO 140/2003, DE 7 DE FEBRERO, POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS SANITARIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO.

ANEXO I.- Requisitos del Agua: Parámetros y valores paramétricos

Como mínimo debe cumplir con los requisitos de las partes A, B y D

B.2 Parámetros químicos que se controlan según las especificaciones del producto.

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
28. Acrilamida.	0,10 µg/l	<u>1</u>
29. Epiclorhidrina	0,10 µg/l	<u>1</u>
30. Cloruro de vinilo	0,50 µg/l	<u>1</u>

Nota:

(1) Estos valores paramétricos corresponden a la concentración monomérica residual en el agua, calculada con arreglo a las características de la migración máxima del polímero correspondiente en contacto con el agua.

La empresa que comercialice estos productos presentará a los gestores del abastecimiento y a los instaladores de las instalaciones Interiores la documentación que acredite la migración máxima del producto comercial en contacto con el agua de consumo utilizado según las especificaciones de uso del fabricante.

LEGISLACIÓN

REAL DECRETO 140/2003, DE 7 DE FEBRERO, POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS SANITARIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO.

ANEXO I.- Requisitos del Agua: Parámetros y valores paramétricos

Como mínimo debe cumplir con los requisitos de las partes A, B y D

C. Parámetros indicadores.-Incluye 19 parámetros y 6 notas.

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
31. Bacterias coliformes	0 UFC En 100 ml	
32. Recuento de colonias a A la salida de ETAP	100 UFC En 1 ml	
En red de distribución	Sin cambios anómalos	
33. Aluminio	200 µg/l	
34. Amonio	0,50 mg/l	
35. Carbono orgánico total	Sin cambios anómalos mg/l	<u>1</u>
36. Cloro combinado residual	2,0 mg/l	<u>2, 3 y 4</u>
37. Cloro libre residual	1,0 mg/l	<u>2 y 3</u>
38. Cloruro	250 mg/l	
39. Color	15 mg/l Pt/Co	
40. Conductividad	2.500 µS/cm ⁻¹	<u>5</u>
41. Hierro	200 µg/l	
42. Manganese	50 µg/l	
43. Olor	Índice de dilución	
44. Oxidabilidad	5,0 mg O ₂ /l	<u>1</u>
45. pH: Valor paramétrico mínimo	6,5 Unidades de pH	<u>5 y 6</u>
Valor paramétrico máximo	9,5 Unidades de pH	
46. Sabor	índice de dilución	
47. Sodio	200 mg/l	
48. Sulfato	250 mg/l	
49. Turbidez: A la salida de ETAP y/o depósito	1 UNF	
En red de distribución	5 UNF	

LEGISLACIÓN

REAL DECRETO 140/2003, DE 7 DE FEBRERO, POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS SANITARIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO.

ANEXO I.- Requisitos del Agua: Parámetros y valores paramétricos

Como mínimo debe cumplir con los requisitos de las partes A, B y D

D. Radiactividad

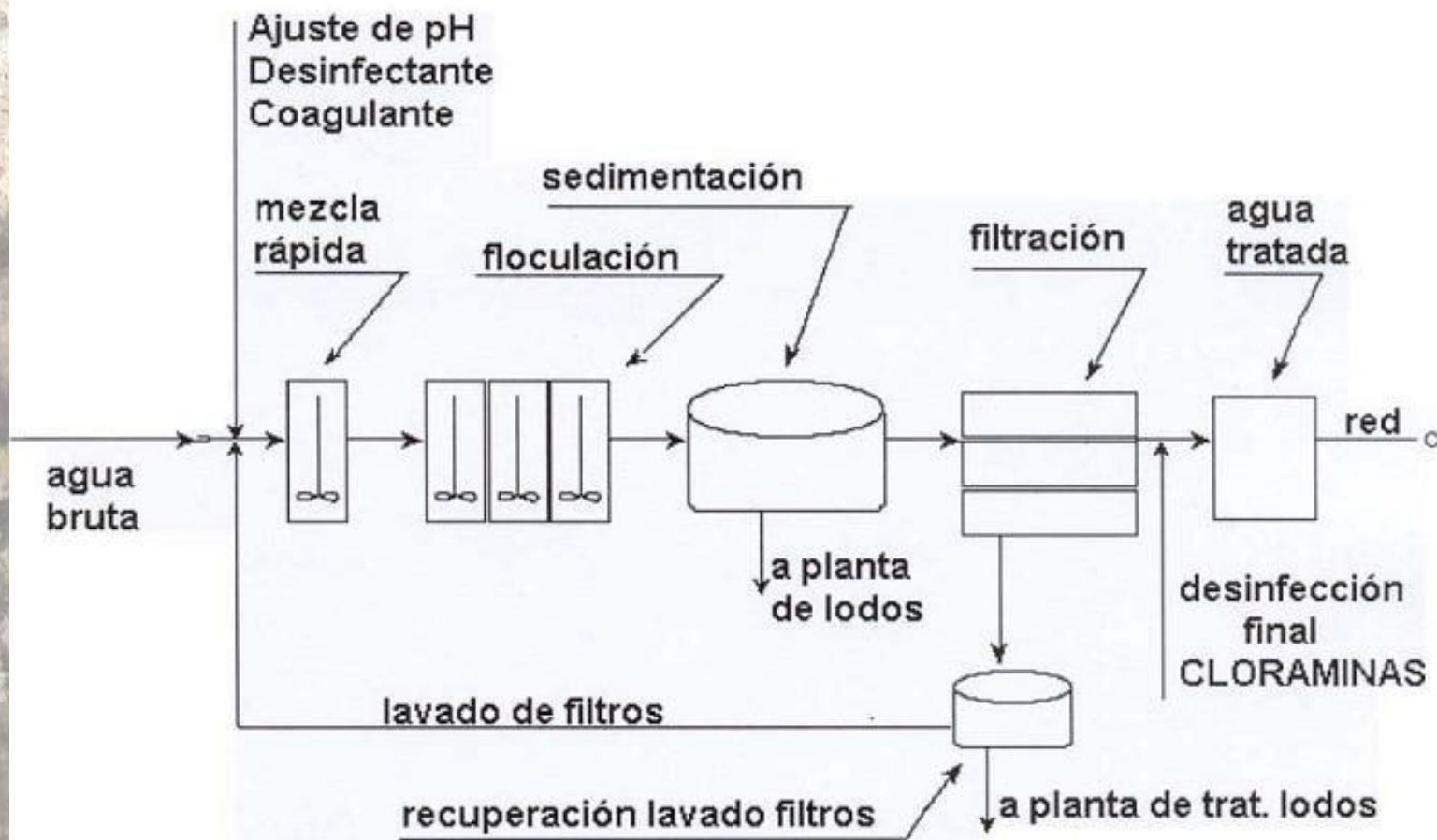
Parámetro	Valor paramétrico	Notas
50. Dosis indicativa total	0,10 mSv/año	1
51. Tritio	100 Bq/l	
52. Actividad total	0,1 Bq/l	
53. Actividad β resto	1 Bq/l	2

Notas:

- (1) Excluidos el trino, el potasio⁴⁰, el radón y los productos de desintegración del radón.
- (2) Excluidos el potasio⁴⁰ y el tritio.

ESQUEMA DE TRATAMIENTO TÍPICA

ESQUEMA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO



ESQUEMA CLÁSICO DE ETAPS

	PRE-TRATAMIENTO 	Desbaste Tamizado Desarenado (menos habitual)
■ Mejora los mecanismos de coagulación ■ Evita desarrollo de algas ■ Oxida Fe y Mn	PREOXIDACIÓN 	■ Precloración (cloro ó derivados ■ Preozonización ■ Permanganato
■ Elimina MES y parte de materia orgánica disuelta	CLARIFICACIÓN 	Coagulación / floculación + Decantación + Filtración
■ Elimina los microorganismos patógenos	DESINFECCIÓN	■ Cloro ó derivados ■ Ozono ■ Rayos ultravioleta

FASE 1.- OBRA DE LLEGADA Y PRETRATAMIENTO



FASE 2.- PREAIREACIÓN / PREOXIDACIÓN

Se utiliza para modificar el estado de ciertos metales o compuestos (nitrogenados, sulfurados, cianuros, etc.) con objeto de hacerlos insolubles o pasarlos a formas menos tóxicas.

Algunas especies se presentan en forma oxidada o reducida y pasan de una forma a otra por incremento de electrones (reducción) o pérdida de electrones (oxidación). A un sistema formado por un receptor y un donante de electrones, entre los cuales puede haber transferencia de electrones, se le denomina sistema oxidante-reductor



Con excepción del oxígeno y el hidrógeno, que sólo pueden ser, respectivamente, oxidante y reductor, ni existen oxidantes ni reductores en forma absoluta.

FASE 2.- PREAIREACIÓN / PREOXIDACIÓN

Potencial re-dox de algunos de los desinfectantes más usados.

Desinfectante	Fórmula	Potencial re-dox. (v)
Ozono	O ₃	2,07
Dióxido de cloro	ClO ₂	1,91
Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂	1,77
Acido hipocloroso	HOCl	1,63
Cloro gas	Cl ₂	1,36
Bromo	Br ₂	1,09
Hipoclorito	ClO ⁻	0,94
Plata	Ag ⁺	0,8
Clorito	ClO ₂ ⁻	0,66
Permanganato	MnO ₄ ⁻	0,59
Yodo	I ₂	0,54

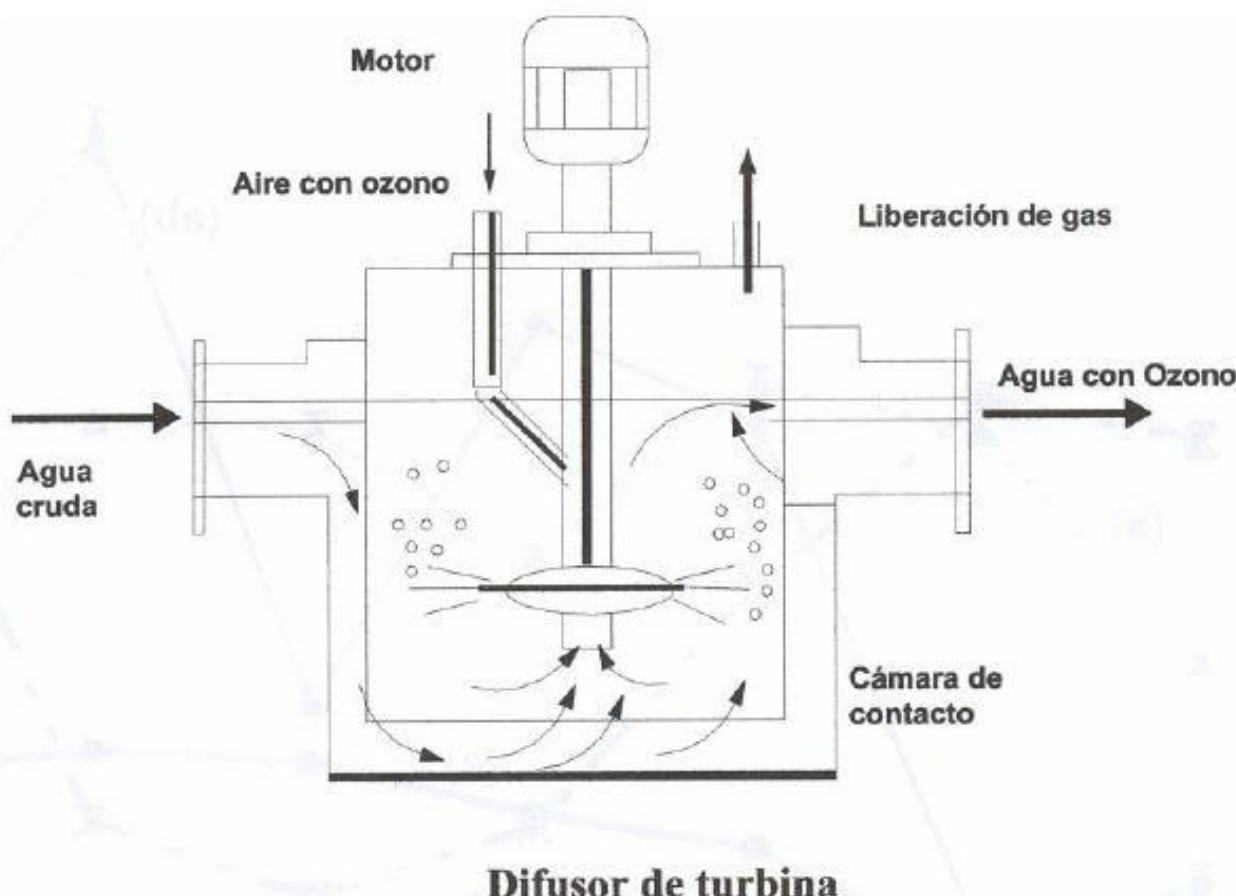
FASE 2.- PREAIREACIÓN / PREOXIDACIÓN

	Cl₂	ClO₂	O₃	K Mn O₄
Fe, Mn	+	++	++++	++++
NH₄	+++	o	+	o
Color	+	++	+++	o
Sabor	+/-	++	++++	+/-
MO	+/-	+	++++	o
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Depende de ph ✓ Forma THM ✓ Sabor 	Forma Cloritos y Cloratos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Depende de ph ✓ Formación posible de bromatos 	✓ Color

- 0 sin efecto
- +/- efecto variable
- + efecto positivo débil
- ++ efecto apreciable
- +++ efecto bueno
- +++++ excelente

FASE 2.- PREAIREACIÓN / PREOXIDACIÓN

INSTALACIÓN PARA PREOZONIZACIÓN



FASE 2.- PREAIREACIÓN / PREOXIDACIÓN

Los principales objetivos de la aireación son;

- Adición de oxígeno para eliminación de hierro y manganeso por oxidación y posterior decantación y/o filtración
- Eliminación parcial de dióxido de carbono para reducir el coste del ablandamiento de agua por precipitación con cal e incrementar el pH
- Reducción de la concentración de sustancias que producen olores y sabores indeseables al agua, como sulfuros de hidrógeno y compuestos orgánicos volátiles
- Reducción de la concentración de compuestos orgánicos volátiles cancerígenos
- Favorecer la degradación biológica de sustancias orgánicas

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

DEFINICIONES

Las **SUSPENSIONES** son mezclas heterogéneas formadas por un sólido en polvo (soluto) o pequeñas partículas no solubles (fase dispersa) que se dispersan en un medio líquido (dispersante o dispersora).

Un **COLOIDE, SUSPENSIÓN COLOIDAL O DISPERSIÓN COLOIDAL** es un sistema fisico-químico compuesto por dos fases: una *continua*, normalmente fluida, y otra *dispersa* en forma de partículas; por lo general sólidas, de tamaño mesoscópico (a medio camino entre los mundos macroscópico y microscópico). Así, se trata de partículas que no son apreciables a simple vista, pero mucho más grandes que cualquier molécula. Dan turbidez al agua, frente a las disoluciones, que son transparentes.

Una **DISOLUCIÓN** es una mezcla homogénea, la cual a nivel molecular o iónico de dos o más especies químicas no reaccionan entre sí, es muy estable; y no se podrán separar por centrifugación ni filtración.

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

El papel de la coagulación-floculación

Principalmente, Eliminación de SS y de coloides.

Esto ocurre en una etapa final de separación sólido-líquido: sedimentación, flotación o filtración.

Eliminación de sustancias disueltas: distintas sustancias pueden requerir un tratamiento específico

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

LAS ETAPAS EN LA AGLOMERACIÓN

Etapa	Factores	Procesos
ADICIÓN DE COAGULANTE	Reacción con agua, ionización, hidrólisis, polimerización	HIDRÓLISIS
DESESTABILIZACIÓN	Compresión de la doble capa	COAGULACIÓN
	Absorción específica de iones del coagulante sobre la superficie de la partícula	
	Inclusión del coloide en un precipitado hidróxilo	
	Unión interparticular mediante especies poliméricas del coagulante	
	Movimiento Browniano	
TRANSPORTE	Unión específica entre iones o especies sobre la superficie de la partícula	FLOCULACIÓN PERICINÉTICA
	Energía disipada (gradiente de velocidad)	FLOCULACIÓN ORTOCINÉTICA

La **coagulación** es la desestabilización de partículas coloidales formadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante.

La **floculación** es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos, y después en grandes flóculos que podrán sedimentar. La introducción de otro reactivo, llamado floculante, puede provocar la formación del flóculo.

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

COAGULANTES

COAGULANTES MINERALES

- Cationes trivalentes

Cuando escogemos un coagulante, el que sea inocuo y el coste se deben de tener en cuenta - sales de Fe^{3+} y el Al^{3+} han sido y continúan siendo ampliamente utilizadas

Sales de aluminio

Independientemente del reactivo, la reacción básica consiste en la formación de hidróxido de aluminio y generación de una cierta acidez, que puede comportar otras reacciones, especialmente sobre especies como los bicarbonatos



Los reactivos más utilizados son (solos o en combinación con cal o carbonato sódico);

Sulfato de aluminio – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Cloruro de aluminio – AlCl_3

Aluminato sódico – NaAlO_2

Polímeros de aluminio – $\text{Al}_n(\text{OH})_y\text{Cl}_x(\text{SO}_4)_z$

PAC (policloruro de aluminio)

PCBA (policloruro básico de aluminio)

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

COAGULANTES

COAGULANTES MINERALES

Sales de hierro

El funcionamiento de estos reactivos se basa en la formación del hidróxido de hierro y disminución del pH del agua



Los reactivos más utilizados son;

Cloruro férrico – FeCl_3

Sulfato férrico – $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

Sulfato ferroso – FeSO_4

Cloruro sulfato férrico – FeClSO_4

La influencia del pH

Catión	Ph óptimo para la coagulación-floculación
Al^{3+}	6.0 – 7.4
Fe^{3+}	> 5

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

COAGULANTES

COAGULANTES ORGÁNICOS

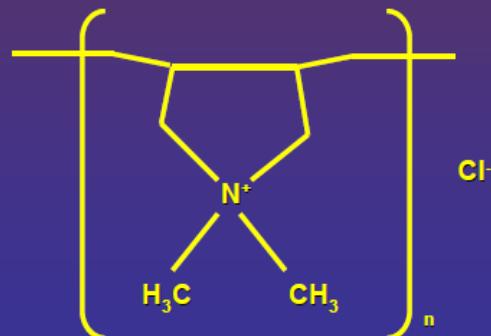
La producción de fango

- Son polielectrolitos catiónicos, la cantidad de fango generado es considerablemente menor.

Coagulantes orgánicos

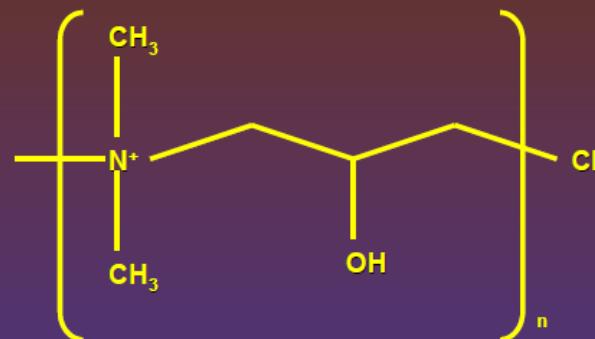


Epicloridinas



POLIDADMAC – policloruro de dialildimetilamonio

Poliaminas



Ventajas de los coagulantes orgánicos;

- Mejora de la coagulación, mejor separación sólido-líquido
- Menores dosis
- Menor volumen de fangos producidos
- Menor dependencia del pH
- No incorporan iones metálicos al agua (Cada vez más importante)

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

FLOCULANTES

- Los **polímeros** son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.
- Polímeros inorgánicos y polímeros naturales fueron los primeros en utilizarse.
- Hoy, polímeros sintéticos, que han cambiado los resultados de la floculación considerablemente.
- El floculante no hace efecto si antes no se ha añadido el coagulante.
- El uso de floculantes sintéticos produce normalmente una cantidad mínima de fango.

FLOCULANTES MÁS UTILIZADOS

- **No-iónicos:** consisten normalmente en polímeros derivados de la acrilamida
- **Aniónicos:** suelen ser copolímeros derivados del ácido acrílico y la acrilamida
- **Catiónicos:** se obtienen por copolimerización de acrilamida y un monómero catiónico

Nota.- En la actualidad hay un gran problema con las poliacrilamidas para su uso en potabilización, debido a los límites impuestos por la legislación, que prácticamente prohíben su uso

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Aditivos Aplicables en la Coagulación Floculación de Aguas de Consumo Humano (R.D. 140/2003).

ADITIVO	NORMA UNE-EN
Sulfato de Aluminio	UNE-EN 878: 1997
Aluminato sódico	UNE-EN 882: 1997
Polihidroxicloro sulfato de aluminio	UNE-EN 883: 1997
Polihidroxicloruro de aluminio	UNE-EN 884: 1997
Cloruro de Aluminio	UNE-EN 881: 1997
Hidroxicloruro de Aluminio	UNE-EN 881: 1997
Hidroxiclorosulfato de aluminio	UNE-EN 881: 1997
Sulfato ferroso	UNE-EN 889: 1999
Sulfato férrico	UNE-EN 890: 1999
Clorosulfato férrico	UNE-EN 891: 1999
Cloruro férrico	UNE-EN 888: 1999
Poliacrilamida aniónica y no iónica	UNE-EN 1407: 1998
Poliacrilamida catiónica	UNE-EN 1410: 1998
Aluminosilicato expandido	UNE-EN 12905: 2000
Almidones modificados	UNE-EN 1406: 1998
Alginato de sodio	UNE-EN 1405: 1998
Silicato de Sodio	UNE-EN 1209: 1998
Tierra de Diatomeas	UNE-EN 12913: 2000
Carbón Activo en Polvo	UNE-EN 12903: 2000
Carbonato Cálcico	UNE-EN 1018: 1998

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Determinación del producto y dosis adecuados

La elección del producto y las dosis se determinan por ensayos de laboratorio (Jar-Test) y ensayos en planta.

Ensayo Jar-Test; reproduce en laboratorio el proceso de coagulación/flocculación

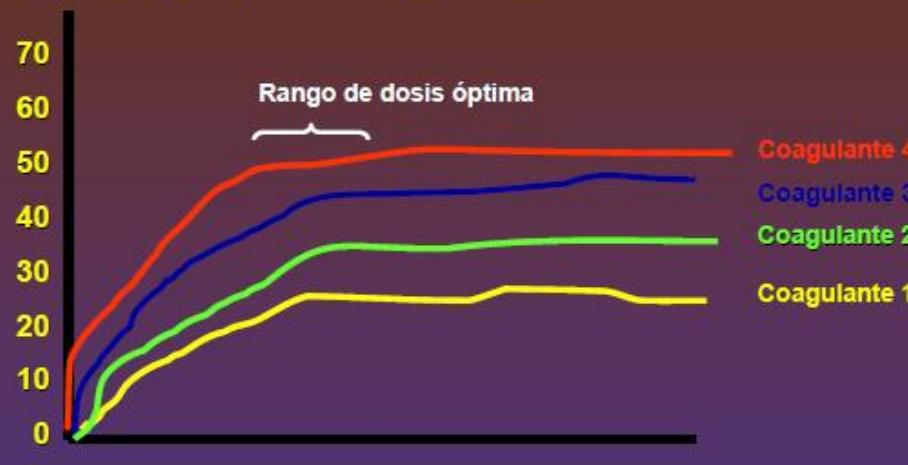
- 1) Se mide el pH, turbidez y temperatura del agua
- 2) Se llena una serie de vasos con un volumen determinado del agua a tratar
- 3) Se añaden el coagulante a ensayar a diferentes dosis y se mantiene fuerte agitación (250 rpm) durante 2 minutos
- 4) Se disminuye la agitación (40 rpm) y se dejan crecer los coágulos/flóculos durante 5-15 min
- 5) Se para la agitación y se deja sedimentar durante 10-20 min
- 6) Se toma muestra del sobrenadante y se compara la turbidez (o bien se analiza lo que estemos intentando reducir, p.e. DBO₅ o DQO)



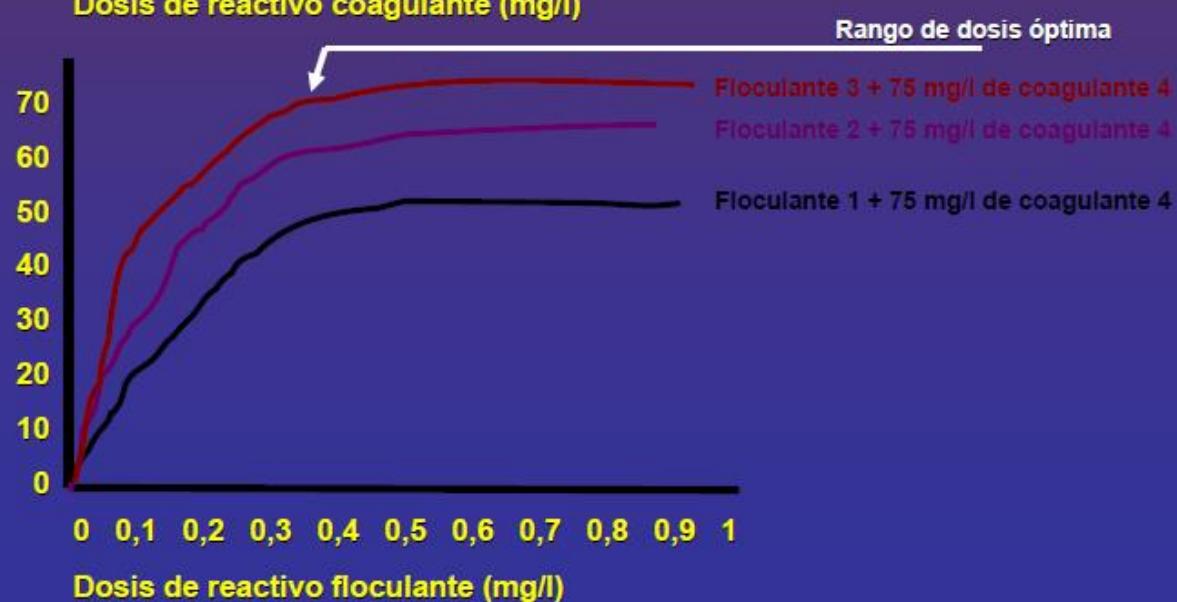
FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Ejemplo de Resultados típicos de un Jar-Test

1) Selección del coagulante y dosis del reactivo



2) Selección del floculante y dosis del reactivo



FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

La mezcla de reactivos tiene lugar en **cámaras o tanques**

El **tiempo de retención** en estas cámaras se determina mediante ensayos de laboratorio.

- El tiempo de retención de la cámara de mezcla en coagulación suele estar entre 1-3 minutos.
- La floculación se realiza a continuación de la coagulación, manteniendo la solución en agitación lenta durante 5 a 15 minutos.

La **agitación** en sendos casos puede realizarse mediante los siguientes métodos:

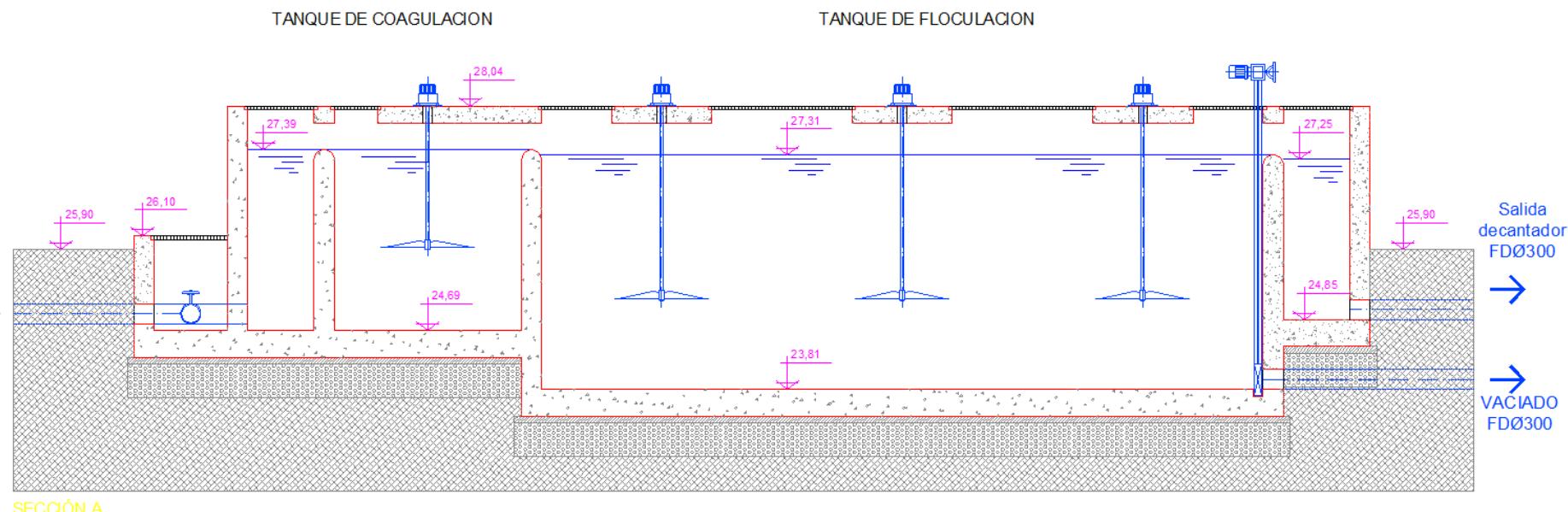
- Estático (poco usual)
- Mecánicos (con palas horizontales o verticales)
- Turbinas o agotadores (lo más común)

Los sistemas de agitación que giran, lo hacen lentamente para no romper los flóculos formados pero lo suficientemente rápido para mantenerlos en suspensión

Conviene que la **transmisión** sea mediante un motorreductor variador para que pueda regularse la velocidad.

Los reactivos pueden dosificarse **en cámaras separadas o en el interior del decantador**.

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN



CÁMARAS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN



DOSIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE COAGULANTE

FASE 3.- COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN



EQUIPO PREPARADOR DE FLOCULANTE

FASE 4.- DECANTACIÓN



4.1.- TEORÍA DE LA SEDIMENTACIÓN

Tipos de sedimentación

En función de la concentración y de la tendencia a la interacción de las partículas:

- **Discreta**
- **Flocculenta**
- **Retardada (también llamada zonal)**
- **Por compresión**

4.1.- TEORÍA DE LA SEDIMENTACIÓN

Partículas discretas (tipo 1)

Sedimentación de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidades individuales y no existe interacción sustancial con las partículas vecinas. Influyen la fuerza de la gravedad y la fuerza de arrastre, por lo que pueden diseñarse para eliminación de un tamaño determinado de partícula.

Aparece típicamente en eliminación de las arenas del agua (desarenador)

4.1.- TEORÍA DE LA SEDIMENTACIÓN

Floculenta (tipo2)

Partículas que se agregan, o floculan. Al unirse las partículas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad. Dependen de múltiples factores : características del tanque, del agua, etc..

Solo puede diseñarse con ensayos de sedimentación obteniéndose curvas de sedimentación (gran empirismo)

Eliminación de partículas indiscriminadas (tamaño, densidad, etc..)

Aparece en la zona superior de los decantadores. Típicamente elimina los flóculos químicos de los tanques de sedimentación

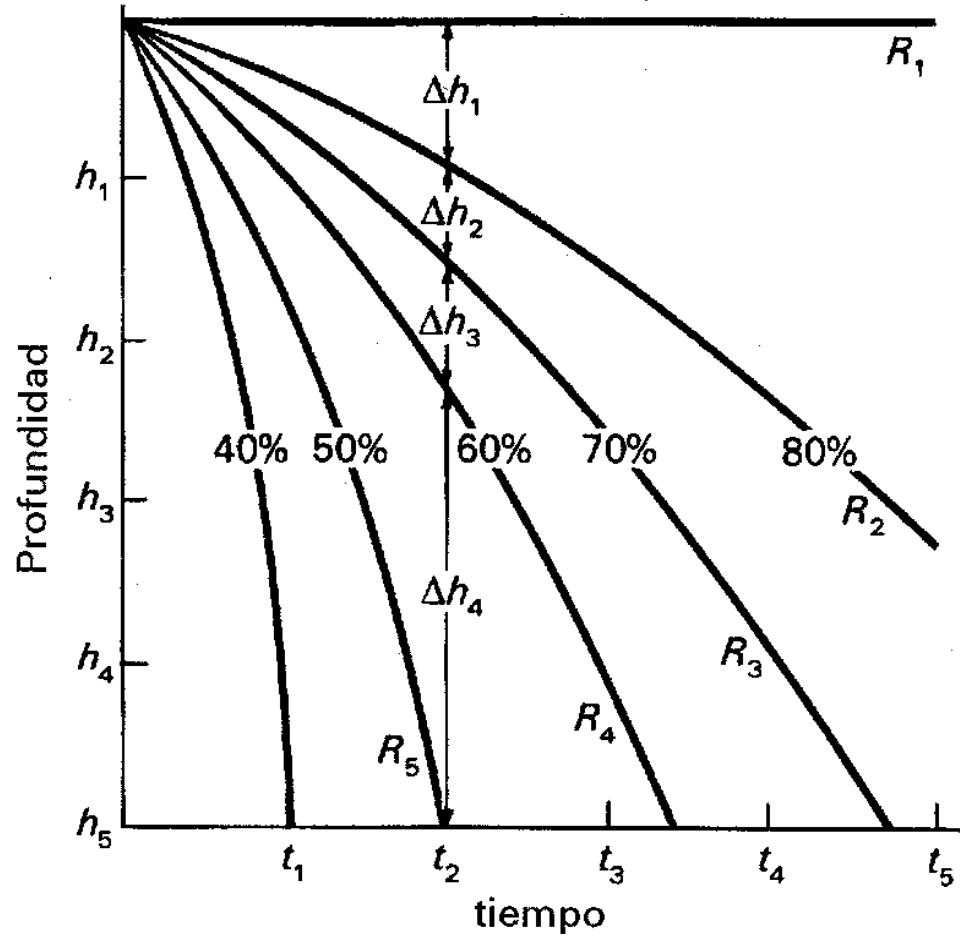
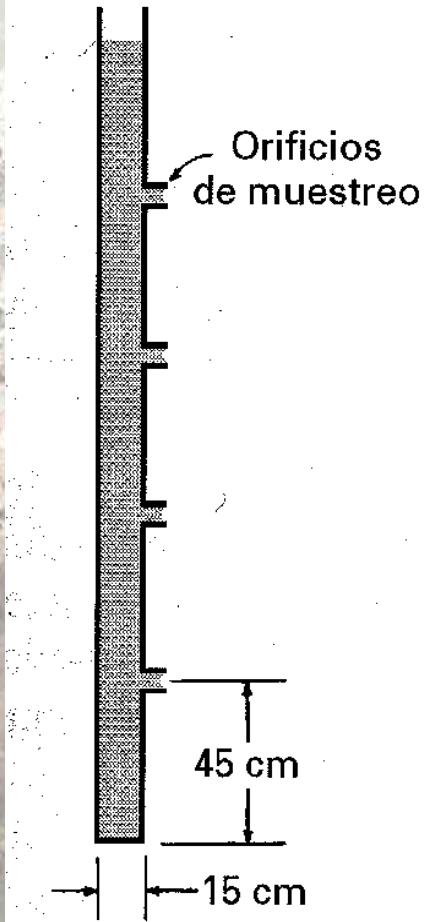


FIGURA 6-12

Columna de sedimentación y curvas de igual eliminación porcentual para partículas floculentas.

4.1.- TEORÍA DE LA SEDIMENTACIÓN

Retardada también llamada zonal (tipo 3)

Suspensiones de concentración intermedia, en las que las fuerzas entre partículas son suficientes para entorpecer la sedimentación de las partículas vecinas.

Las partículas tienden a permanecer en posiciones relativas fijas, y la masa de partículas sedimenta como una unidad.

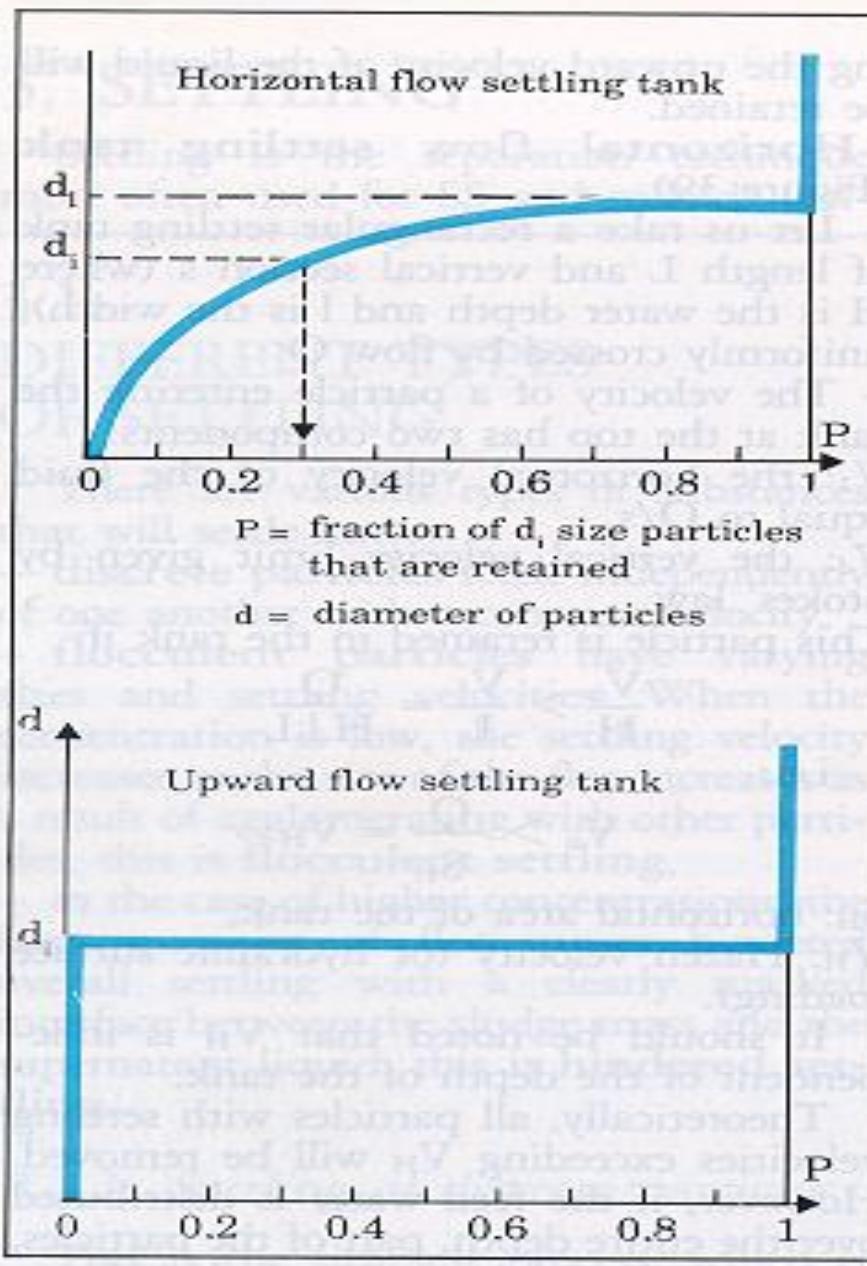
Las partículas tienden a sedimentar en zona o capas, manteniendo entre ellas las mismas posiciones relativas . Este fenómeno se conoce como sedimentación retardada

Conforme van sedimentando las partículas, se produce una zona de agua relativamente clara por encima de la región de sedimentación

Compresión (Tipo 4)

Las partículas están concentradas de tal manera que la compresión se produce por el peso de las partículas.

Aparece en el fondo de los decantadores profundos y espesamiento de fangos



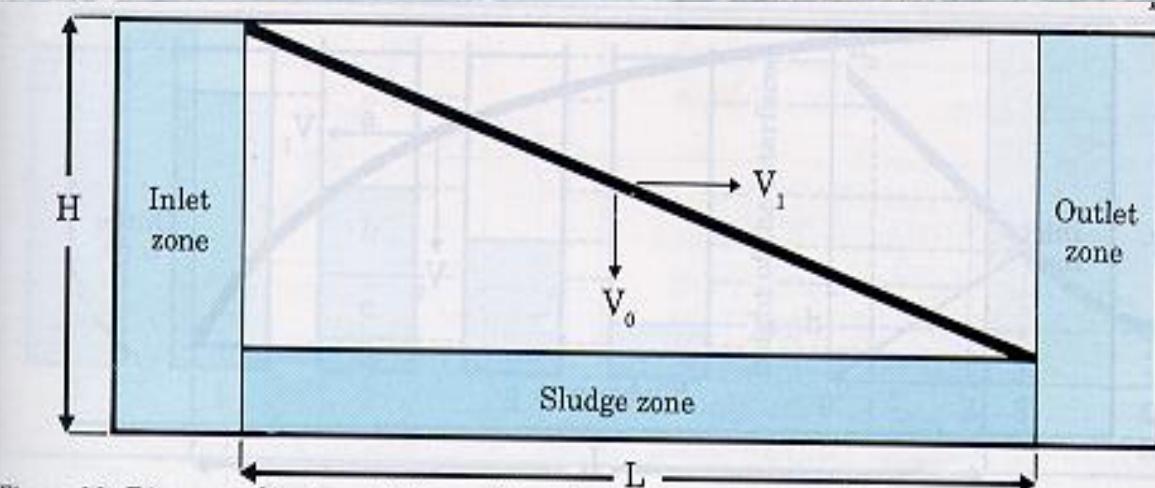


Figure 39. Diagram of horizontal flow settling (discrete particles).

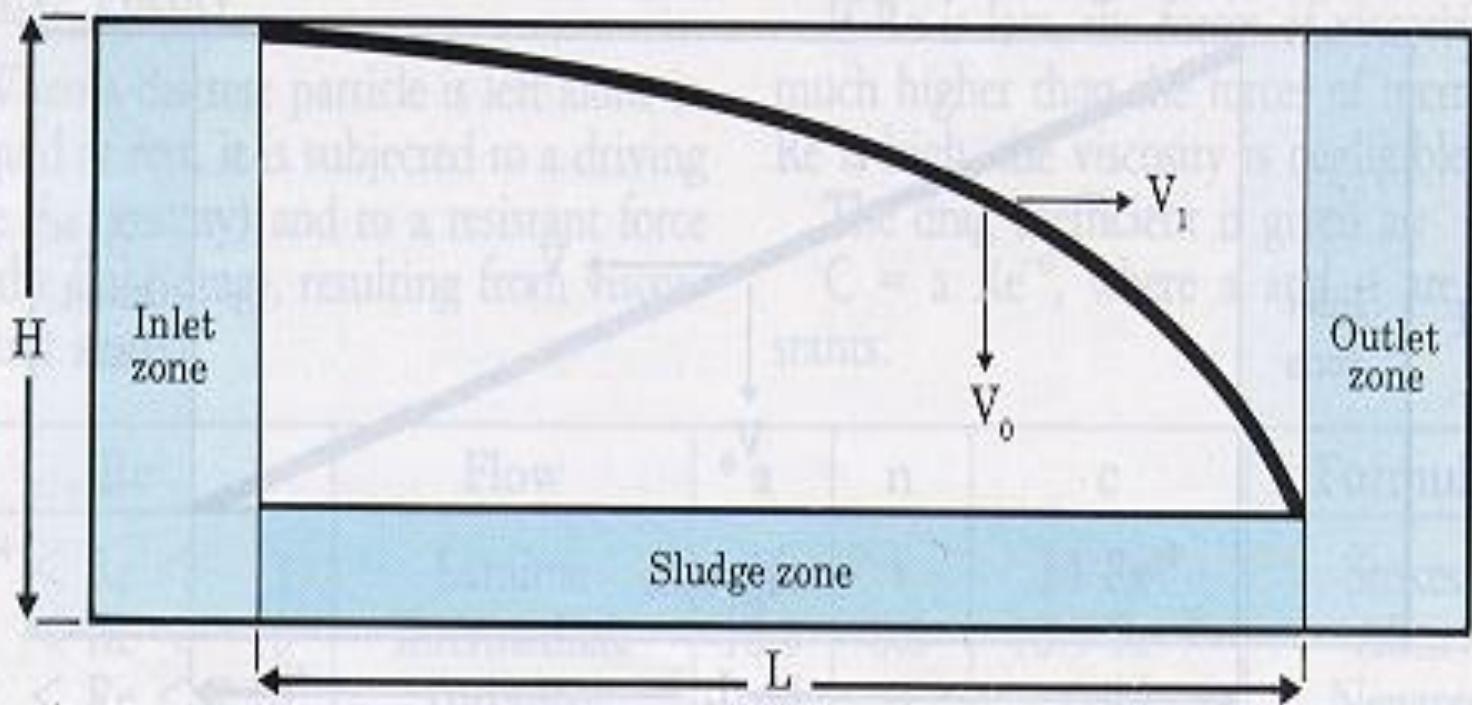


Figure 41. Horizontal flow settling (flocculated particles).

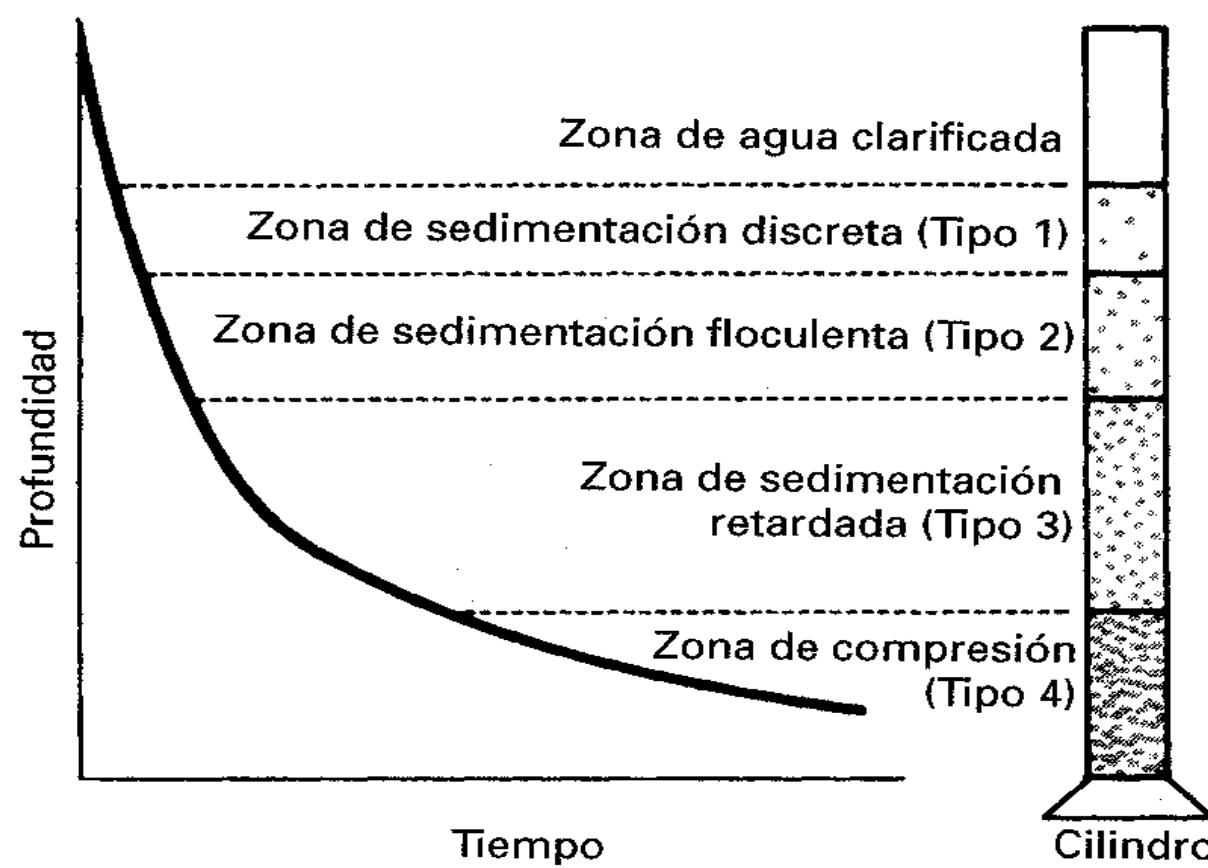


FIGURA 6-14
Esquema de las zonas de sedimentación para un fango activado.

4.1.- TEORÍA DE LA SEDIMENTACIÓN

Factores que intervienen en el proceso de sedimentación

- Tamaño de las partículas
- Peso específico de las partículas
- Concentración de sólidos en suspensión
- Temperatura: a mayor temperatura menor es la densidad del líquido y más rápida, por tanto , la sedimentación; es decir, mayor rendimiento a igualdad de tiempo de retención. El gradiente entre distintos puntos también disminuye el rendimiento
- Tiempo de retención
- Velocidad ascensional
- Velocidad de flujo
- Acción del viento sobre la superficie del líquido
- Fuerzas biológicas y eléctricas
- Cortocircuitos hidráulicos

4.2.- DISEÑO DE DECANTADORES

Tipos de decantadores

- **Respecto al flujo hidráulico**

- a) Flujo vertical**

- Circulares

- Rectangulares

- b) Flujo horizontal**

- Circulares

- Rectangulares

4.2.- DISEÑO DE DECANTADORES

Tipos de decantadores

- **Respecto a la concentración de fangos**
 - a) Sin dispositivo alguno. Los lodos se concentran dando pendientes adecuadas a sus paredes de $>60^\circ$.
 - b) Con rasquetas de arrastre
 - c) Con sistemas de aspiración en continuo
- **Según la reutilización de los lodos**
 - a) Decantadores **estáticos**. Sin recirculación de lodos preformados. Se basan simplemente en la acción de la gravedad.
 - b) Decantadores **dinámicos**. También llamados de contacto de fangos, ya que ponen en contacto el agua influente con el lodo o fango del decantador consiguiendo una mayor agregación.
 - Decantador de **lecho de fangos** (Pulsator). Velocidad ascensional acelerada. Mayor rendimiento.
 - Decantador de **Recirculación de fangos** (Accelerator). Mezcla con fangos precipitados

4.2.- DISEÑO DE DECANTADORES

Dispositivos en los decantadores

- **Sistemas de salida de agua**

Decantadores circulares

- a) Vertederos perimetrales. Suelen ser de tipo dentado, con una pantalla deflectora.
- b) Vertederos radiales. Se utilizan combinados con los perimetrales cuando la carga de salida por vertedero resulta muy alta usando únicamente éstos
- c) Vertederos dobles
- d) Tuberías perforadas

Decantadores rectangulares

Normalmente van situados en la pared opuesta a la entrada

4.2.- DISEÑO DE DECANTADORES

Sistemas de barrido de fangos

Decantadores circulares:

a) Eje rasquetas.

Gira mediante un moto-reductor situado en la parte central del decantador. Se usa en decantadores de pequeño diámetro y las rasquetas del fondo barren el fango hacia una poceta central, desde donde se retirará posteriormente.

b) Puente de rasquetas de tracción central.

Las rasquetas cuelgan de un puente giratorio que va desde el centro hasta la periferia, con objeto de descargar de esfuerzos al eje. El uso de este sistema es limitado.

c) Puente de rasquetas de tracción periférico.

Para los grandes decantadores, por poderse obtener para estos pequeñas velocidades de arrastre.

d) Rasquetas de succión.

Los fangos son constantemente aspirados del fondo del decantador. La concentración del fango de salida es menor por no existir concentrador en el propio decantador.

4.2.- DISEÑO DE DECANTADORES

Sistemas de barrido de fangos

Decantadores rectangulares:

- a) Puente translacional de barrido longitudinal**
- b) Puente translacional de barrido transversal**
- c) Rasquetas arrastradas por cadena sin fin**
- d) Rasquetas de succión**

4.2.- DISEÑO DE DECANTADORES

Pocetas de fango

Decantadores circulares

- a) Poceta central
- b) Poceta central con espesador. El volumen de la poceta se amplia y se dota de mecanismos de espesado para realizar el espesamiento del fango.
- c) Poceta longitudinal intermedia. Para grandes diámetros

Decantadores rectangulares

- a) Pocetas en extremo del decantador.
- b) Pocetas longitudinal. Este tipo de poceta situada longitudinalmente en el decantador reduce la longitud de transporte del fango en el fondo del decantador

4.3.- TIPO DE DECANTADORES

DECANTADORES LAMINARES O LAMELARES

- Pretenden aumentar la superficie de decantación utilizando paquetes de placas paralelas o de pequeños tubos de plástico de geometrías diversas. Así, se consigue mayor rendimiento con menor volumen
- La eliminación de las partículas está relacionada con la velocidad de sedimentación y no con la profundidad del tanque, por lo que conviene dimensionar los tanques de sedimentación lo menos profundos posible para optimizar la eliminación de partículas. A pesar de esto hay consideraciones prácticas que limitan el uso de tanques poco profundos, por ello los decantadores de lamelas de placas y tubulares se han desarrollado como alternativa.
- Sus características principales: el flujo tiene una trayectoria ascendente , los sólidos que se depositan en los módulos se mueven a contracorriente por acción de la gravedad y los módulos se inclinan un angulo variable entre 45º y 60º para que constituyan elementos autolimpiantes. $L_{lamelas} = 1,0 - 1,5 \text{ m}$

Problemas:

- Crecimientos biológicos
- Acumulación de aceites y grasas.
- Obturación, que obligan a limpieza periódica

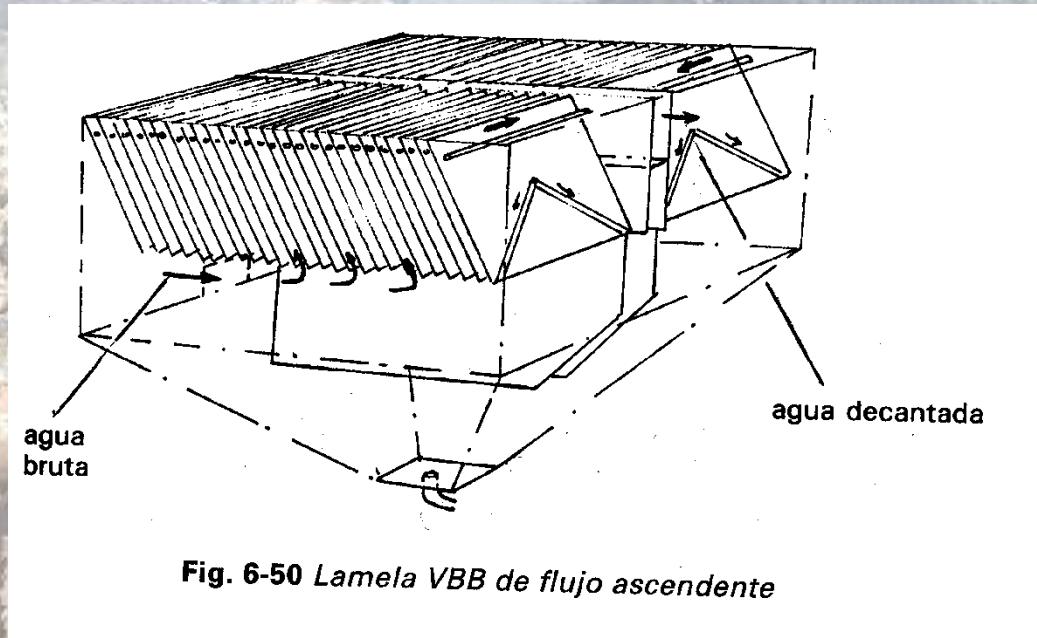
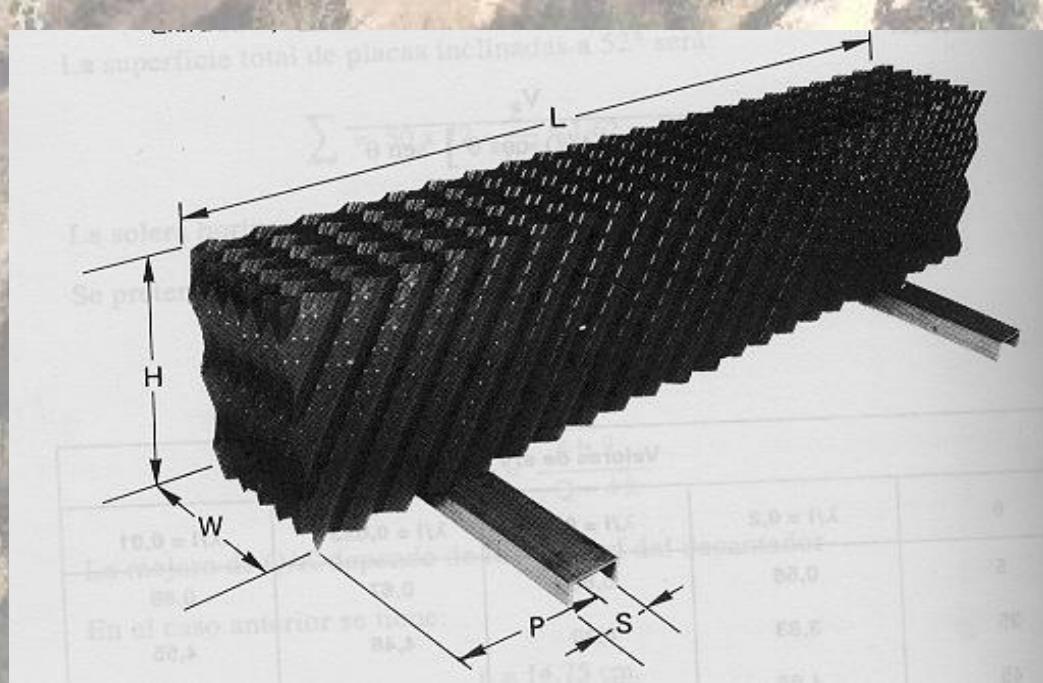
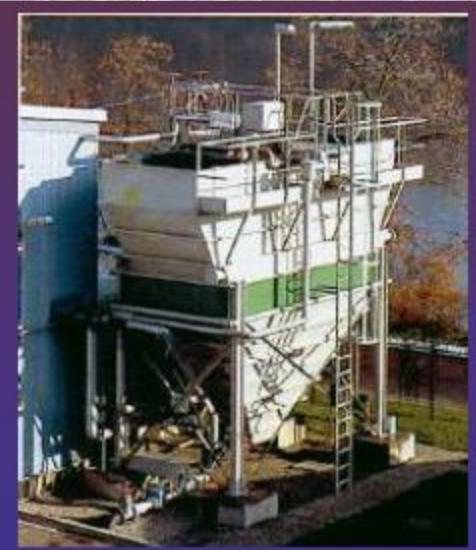
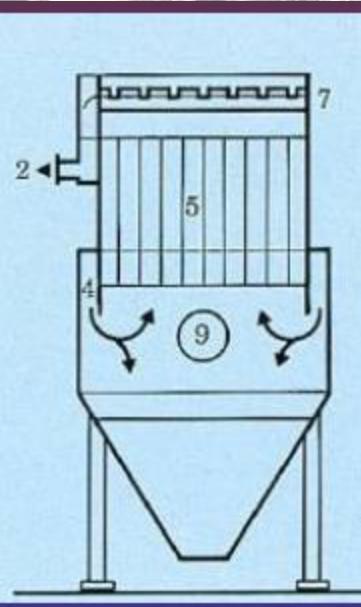
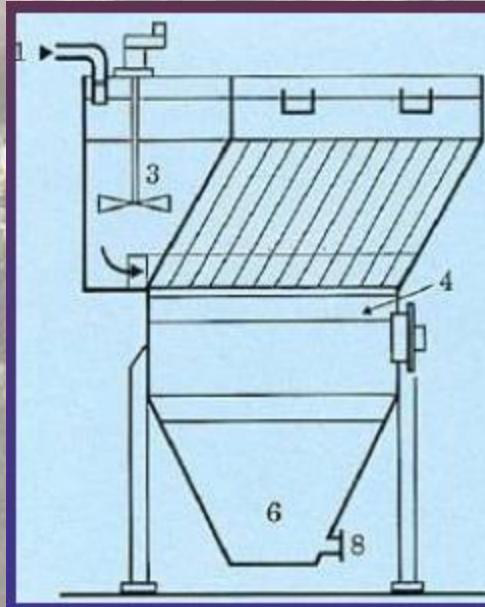
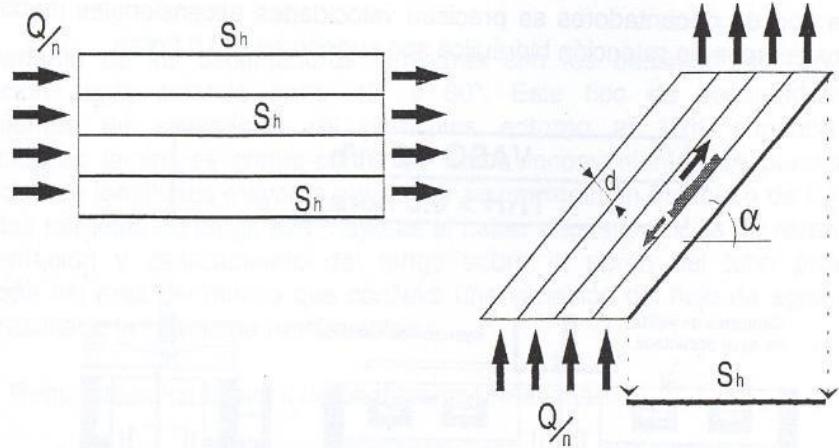


Fig. 6-50 Lamela VBB de flujo ascendente

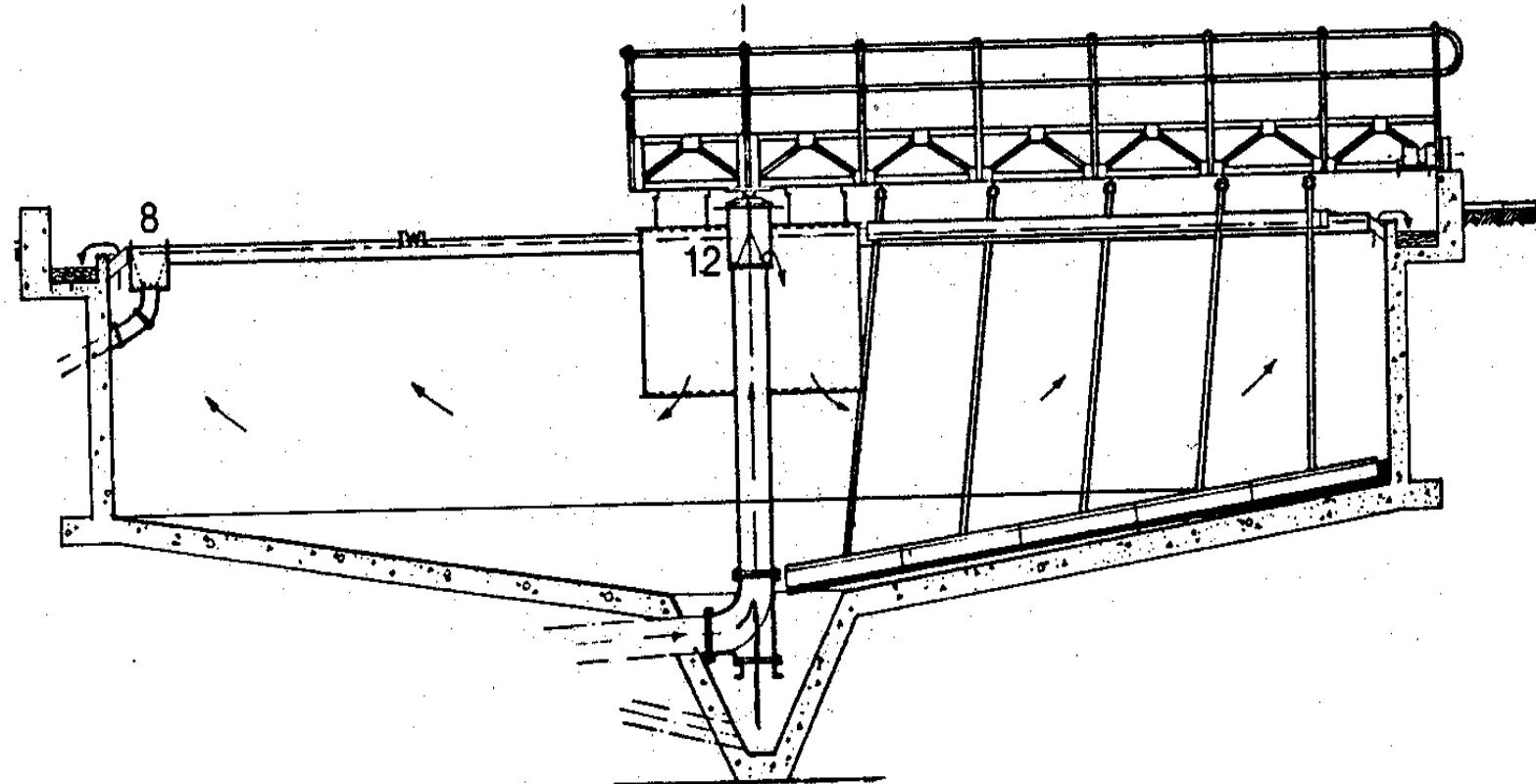


4.3.- TIPO DE DECANTADORES

DECANTADOR LAMELAR



4.3.- TIPO DE DECANTADORES



DECANTADOR ESTÁTICO CIRCULAR DE PUENTE MÓVIL

4.3.- TIPO DE DECANTADORES

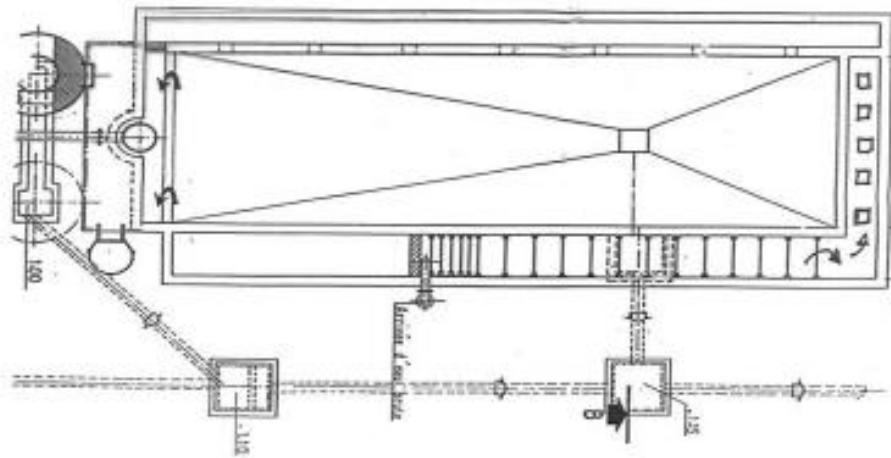
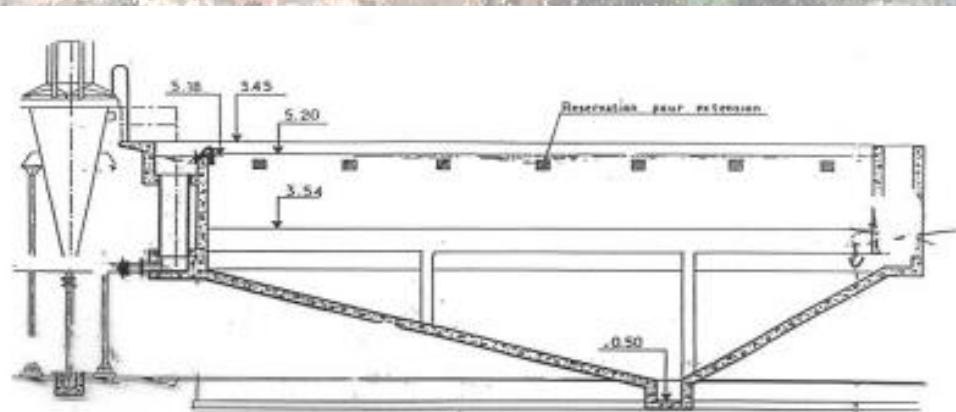


**DECANTADOR ESTÁTICO
CIRCULAR
DE PUENTE MÓVIL**



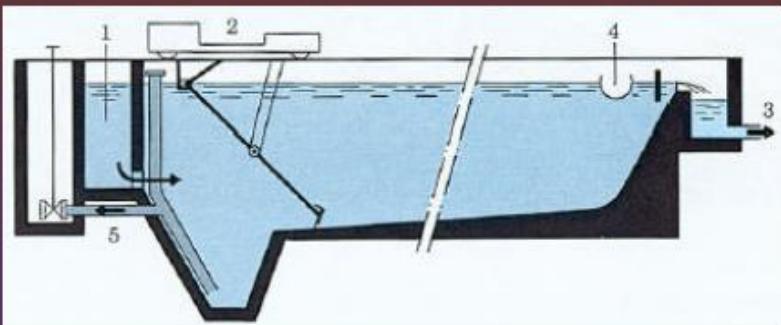
4.3.- TIPO DE DECANTADORES

DECANTADOR ESTÁTICO RECTANGULAR SIN SISTEMA DE ARRASTRE DE FANGOS

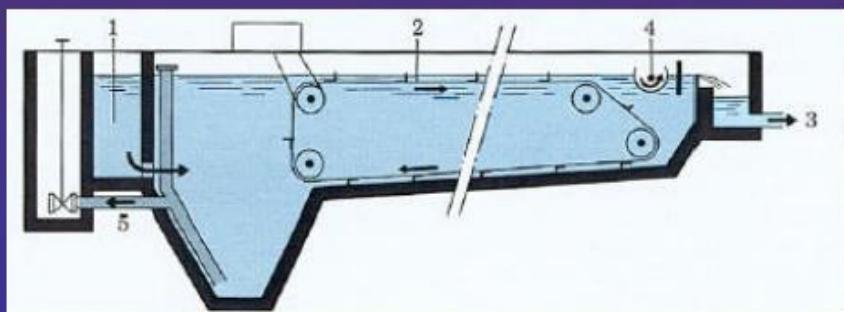


4.3.- TIPO DE DECANTADORES

DECANTADOR ESTÁTICO RECTANGULAR CON SISTEMA DE ARRASTRE DE FANGOS



Con puente de recogida de fangos



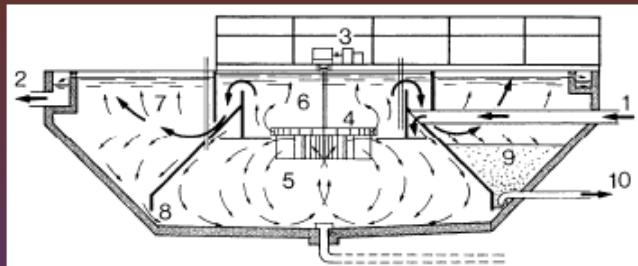
Con recogida fangos con rasquetas con cadenas



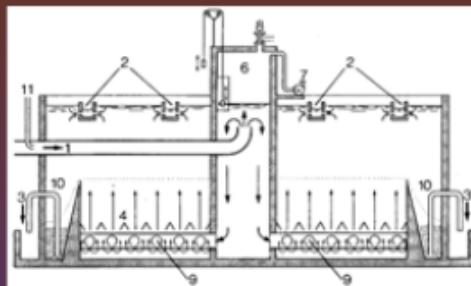
4.3.- TIPO DE DECANTADORES

DECANTADORES DINÁMICOS

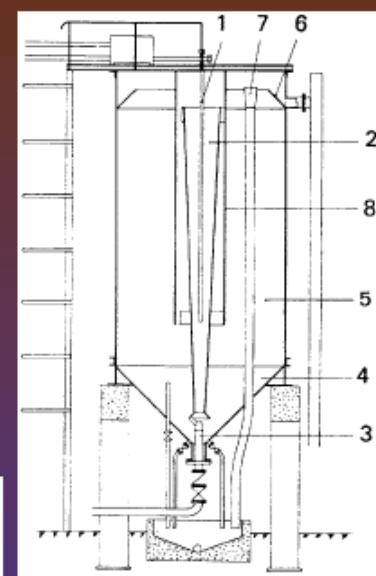
Algunos tipos de unidades de contacto de sólidos



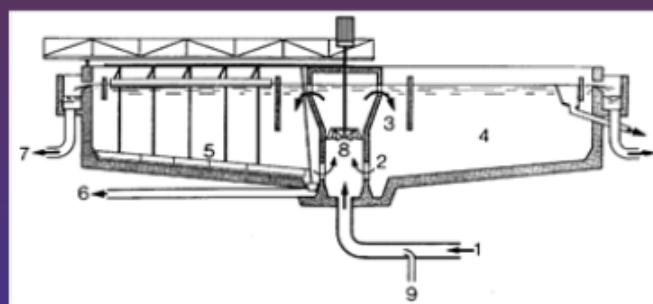
Accelerator



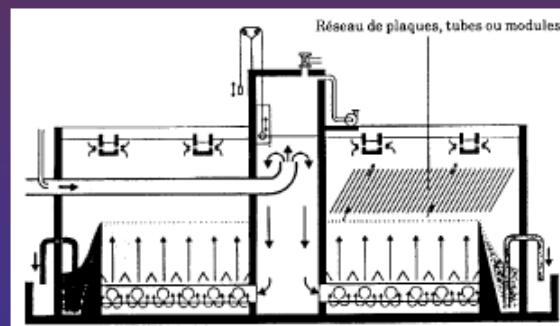
Pulsator



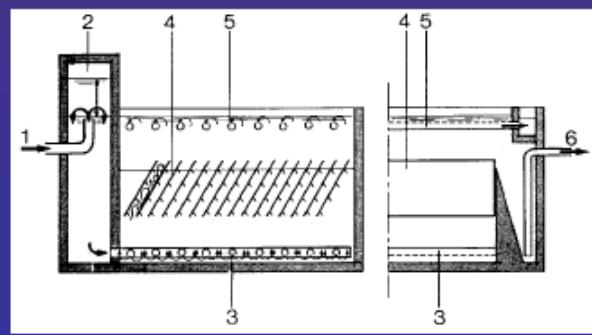
circulator



Turbocirculator



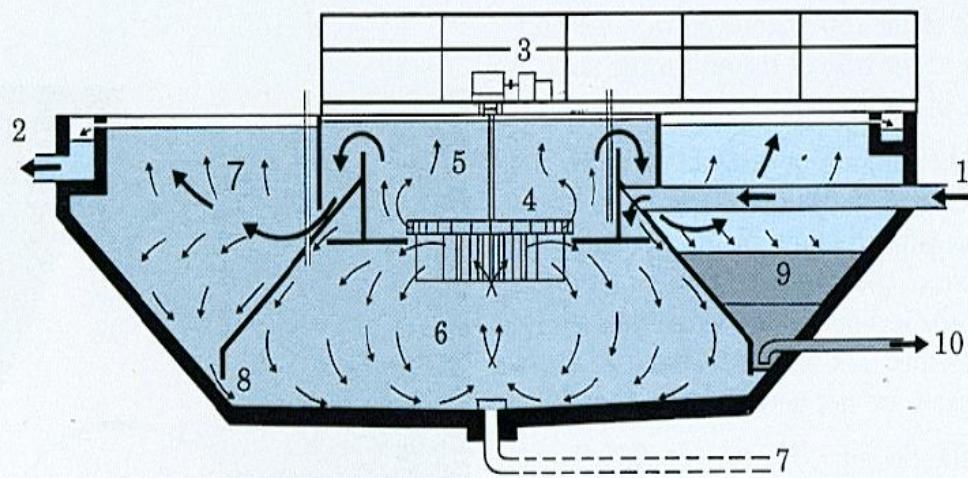
Pulsatube



Superpulsator

Estos modelos son unidades patentadas y en general trabajan a velocidades más elevadas; pulsator (2-3 m/h), superpulsator y pulsatube (4-6 m/h), ultrapulsator (8-12 m/h); éste último con doble sistema lamelar; arriba y abajo

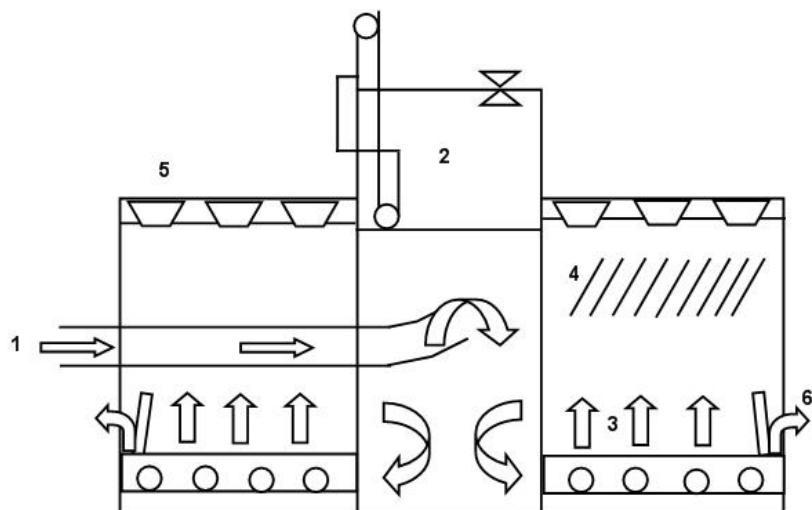
4.3.- TIPO DE DECANTADORES



DECANTADOR DE CONTACTO DE FANGOS - ACCELERATOR

4.3.- TIPO DE DECANTADORES

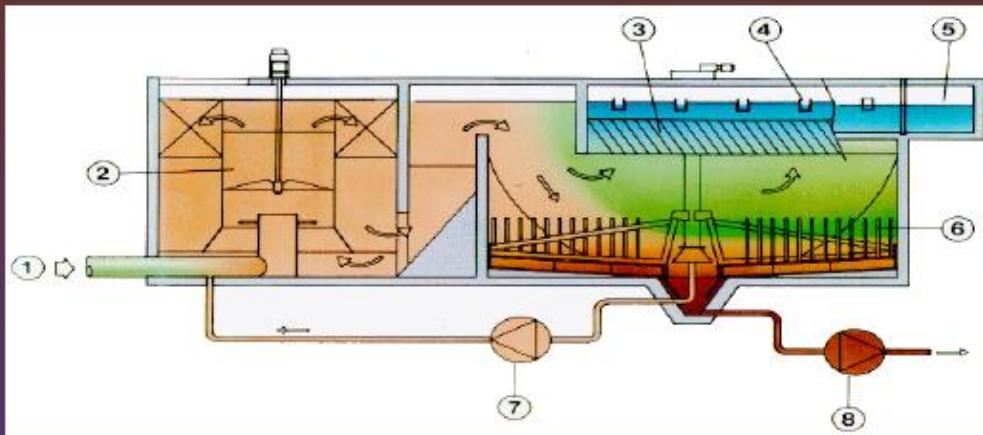
DECANTADOR DE LECHO DE FANGOS



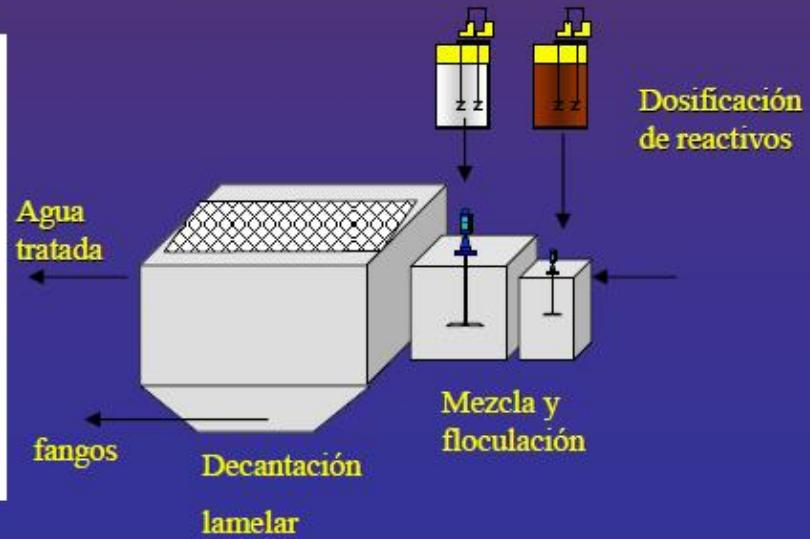
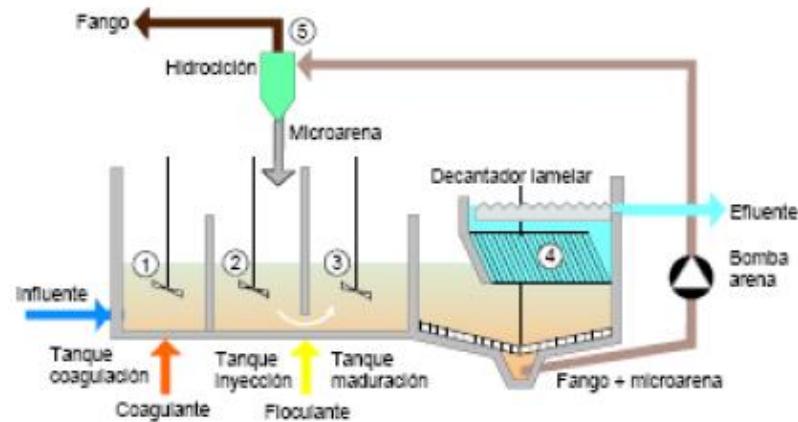
DECANTADOR DE LECHO DE FANGOS - PULSATOR

4.3.- TIPO DE DECANTADORES

Unidades compactas de coagulación-flocculación



Densadeg



Actiflo

4.3.- TIPO DE DECANTADORES

TIPO DE DECANTADOR	TRH (horas)	Carga Hidráulica, CH (m/h)
ESTÁTICO	2-4	1
LECHO DE FANGO	1-2	< 3
RECIRCULACIÓN DE FANGO	$\frac{1}{2}$ -1	< 4

4.4.- FLOTACIÓN

Como operación opuesta a la sedimentación, la flotación es una separación sólido-líquido o líquido-líquido la cual ocurre con partículas las cuales tienen una densidad menor que el líquido en el que están

Si la diferencia de densidad es suficiente para la separación, este tipo de flotación se conoce como natural

La flotación asistida ocurre cuando se utilizan medios externos para promover la separación de las partículas que son normalmente flotables

La flotación inducida ocurre cuando la densidad de la partícula es originalmente mayor que la del líquido y es reducida artificialmente. Esto se basa en la capacidad de ciertas partículas de sólidos y líquidos para unirse con burbujas de gas (normalmente aire) para formar unos conjuntos partícula-gas con una densidad menor que la del líquido en la que están dispersas

En el campo de tratamiento de aguas se reserva el término flotación (en sentido estricto) para la flotación inducida, la cual usa burbujas pequeñas o microburbujas de aire de 40 a 70 micras de diámetro. Este procedimiento se conoce como flotación por aire disuelto (DAF)

4.4.- FLOTACIÓN

- La flotación asistida es la que tiene lugar en un desarenador-desengrasador aireado.
- La flotación inducida es la que se da en un Sistema de Flotación por aire disuelto (DAF).

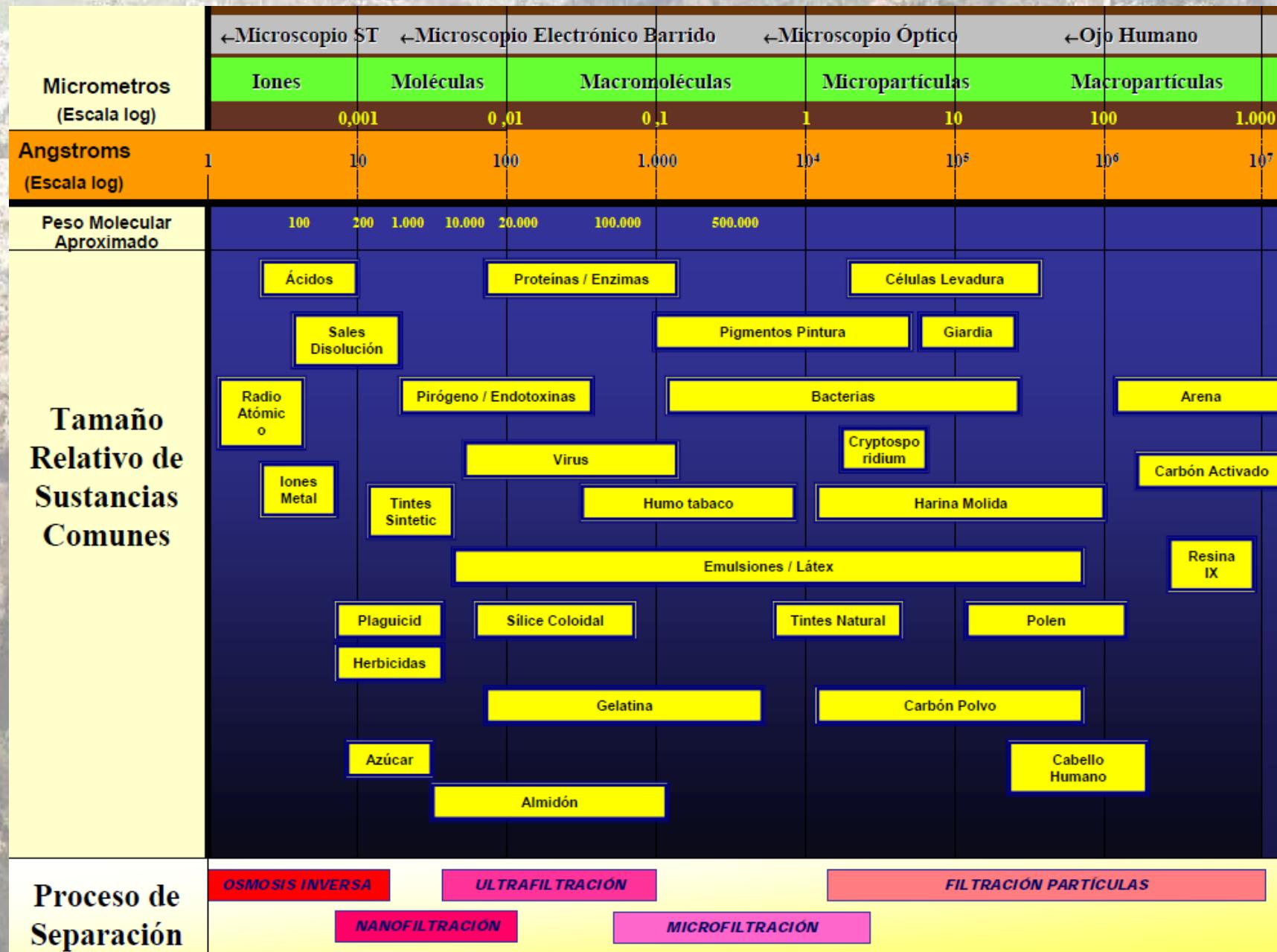
Proceso	Flujo de aire disuelto (Nl/m ³ de agua)	Tamaño de burbujas	Tiempo de retención teórico (min)	Carga hidráulica superficial (m/h)
Flotación asistida (separación de grasas)	100-400	2-5 mm	5-15	10-30
DAF (clarificación)	15-50	40-70 gm	20-40	3-10

4.4.- FLOTACIÓN

DAF EN EDARI DE PULEVA



FASE 5.- FILTRACIÓN



FASE 5.- FILTRACIÓN

TIPOS DE FILTRACIÓN

- En superficie: filtración mecánica a través de soportes, es un simple cribado (mallas, anillas, tamices, filtros de cartuchos, etc.)
- En profundidad: a través de lechos filtrantes, existe interacción de las partículas a retener con el material soporte
 - Monocapa
 - Multicapa
 - Multimedia

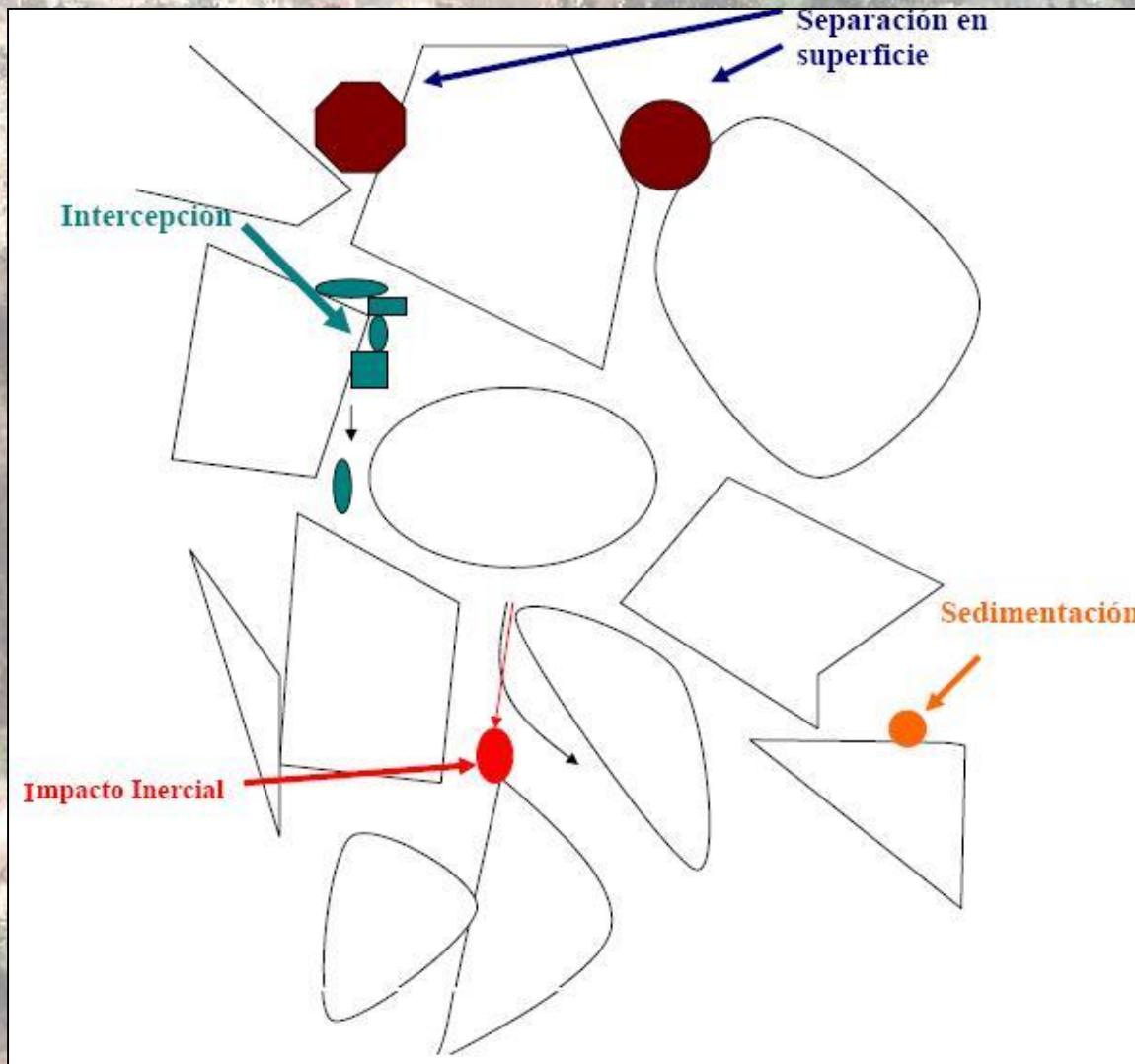
Lechos filtrantes más utilizados: Arena silícea (de canteras o ríos, con granulometría y uniformidad adecuadas). Hay otros medios naturales como la magnetita, el basalto, el granate, el óxido de aluminio, y la antracita, que es muy utilizada en la actualidad

Según el tipo de flujo hidráulico:

- De Gravedad
- A Presión

FASE 5.- FILTRACIÓN

FILTROS A TRAVÉS DE LECHO FILTRANTE MECANISMOS DE ACCIÓN Y TRANSPORTE



FASE 5.- FILTRACIÓN

FILTROS A TRAVÉS DE LECHO FILTRANTE

Los filtros de gravedad suelen ser de **forma rectangular** y el agua entra por un canal lateral superior que actúa como vertedero por desbordamiento o bien dejando pasar el agua por orificios en sus paredes y se desplaza a través del lecho filtrante pasando a una cámara inferior separada por un falso fondo dotado de crepinas o boquillas colectoras que dejan pasar el agua pero no el material filtrante. La altura típica de los lechos filtrantes monocapa suele ser del orden de un metro.

Pueden funcionar con **nivel constante o variable**, si se deja que éste se adapte a la variación de pérdida de carga

El filtro se va ensuciando, hasta que llegada una determinada **pérdida de carga** (detectada por el nivel de agua o presión diferencial) o pérdida de caudal, se procede a su **lavado**, normalmente con agua y aire a presión a contracorriente. Para la limpieza de los filtros se necesitan sistemas auxiliares como bombas de agua de lavado y soplantes para el lavado con aire.

Parámetros de funcionamiento:

SUPERFICIE FILTRANTE NECESARIA = CAUDAL / VELOCIDAD DE FILTRACIÓN

Velocidad de filtración - Depende de la aplicación:

- Filtración convencional: en general velocidades lentas, 5-6 m/h
Como pretratamiento de ósmosis inversa, velocidades moderadas
- Filtros rápidos de arena: 8-10 m³/h/m²
- Filtros multimedia: 15-18 m³/h/m²

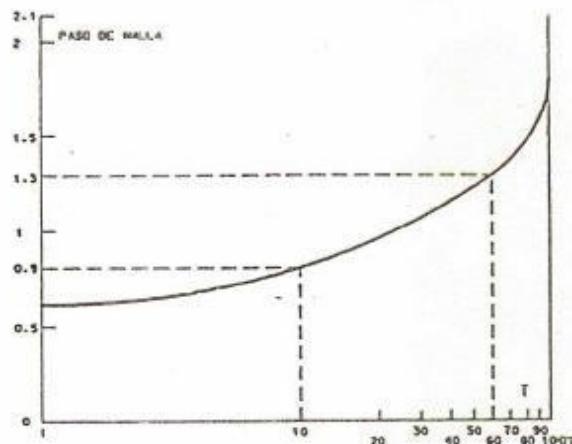
FASE 5.- FILTRACIÓN

FILTROS A TRAVÉS DE LECHO FILTRANTE

CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FILTRANTE

1.- Curva granulométrica

TAMIZ. NFx11.501		T	R
Módulo	Peso de muestra		
34	2	100	0
33	1.6	98	2
32	1.25	40	58
31	1	25	15
30	0.8	7	18
29	0.63	1	6
28	0.50	0	1
27	0.40	0	0



FASE 5.- FILTRACIÓN

FILTROS A TRAVÉS DE LECHO FILTRANTE

CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FILTRANTE

PARÁMETROS DE HAZEN

2.- Talla efectiva T10: valor granulométrico más bajo que representa el 10% del total de las partículas.

3.- Coeficiente de uniformidad: Es el tamaño mínimo de partícula que representa el 60% del material.



FASE 5.- FILTRACIÓN

FILTROS A TRAVÉS DE LECHO FILTRANTE

CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FILTRANTE

4.- Friabilidad: Se trata de la dureza del material en tanto por ciento.

Valores de Friabilidad

	15 minutos	30 minutos
Muy Bueno	6 – 10 %	15 – 20 %
Bueno	10 – 15 %	20 – 25 %
Medioocre	15 – 20 %	25 – 35 %
Rechazable	> 20 %	> 35 %

5.- Atacabilidad: Se refiere a cómo va a soportar el material las propiedades químicas.

MATERIALES EMPLEADOS COMO MEDIO FILTRANTE

Material	Norma	Producto Químico	ρ g/cm ³	Granulometría (mm)
Arena	UNE-EN12904	SiO ₂	2.5 – 2.8	0.4 – 2.5
Grava	UNE-EN12904	SiO ₂	2.5 – 2.8	2 - 26
Antracita	UNE-EN12909	C	1.35 – 1.6	0.6 - 5
Granate	UNE-EN12910	Almandita $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ Andradita $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$	4.1 3.8	0.3 – 2.3
Barita	UNE-EN12912	BaSO ₄	4.2 – 4.5	0.3-4.8

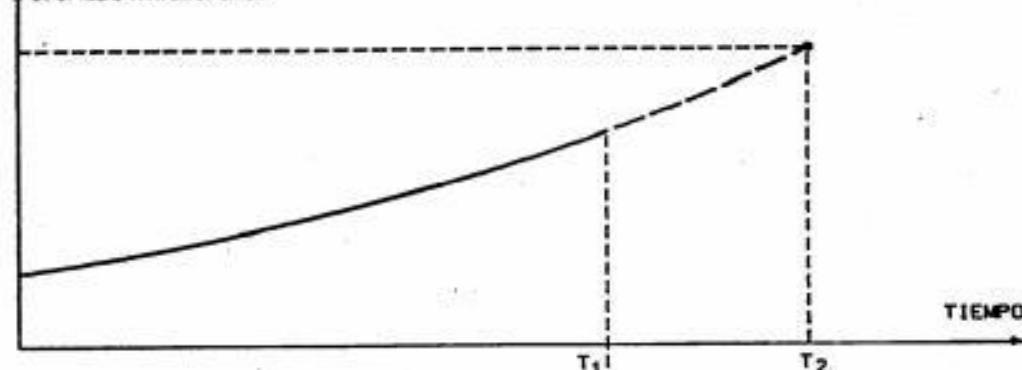
FASE 5.- FILTRACIÓN

FILTROS A TRAVÉS DE LECHO FILTRANTE

PROCESO DE FILTRACIÓN

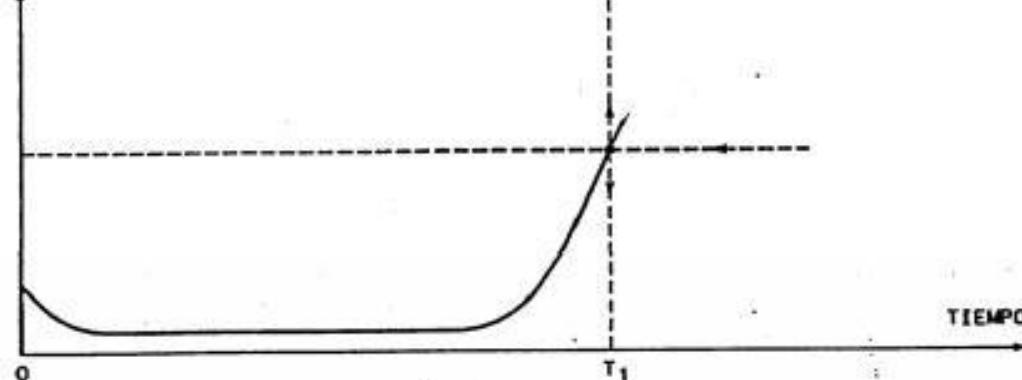
PERDIDA DE CARGA P

en m de altura filtrante en m



TURBIEDAD AGUA FILTRADA

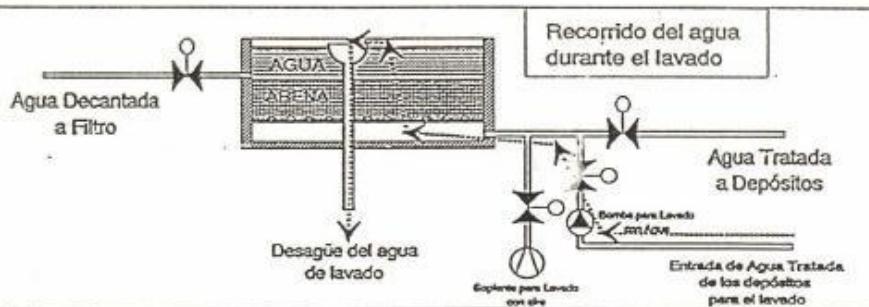
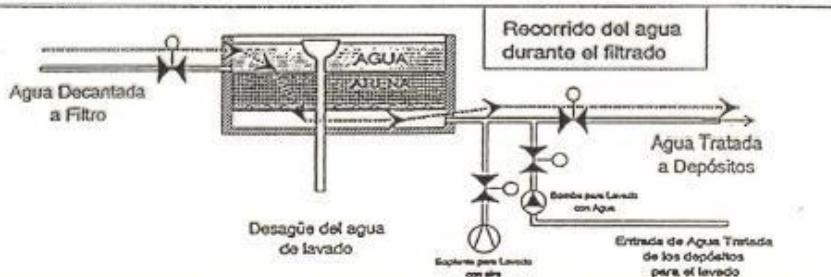
en mg/l



EVOLUCION DE LA CARRERA DE FILTRACION

FASE 5.- FILTRACIÓN

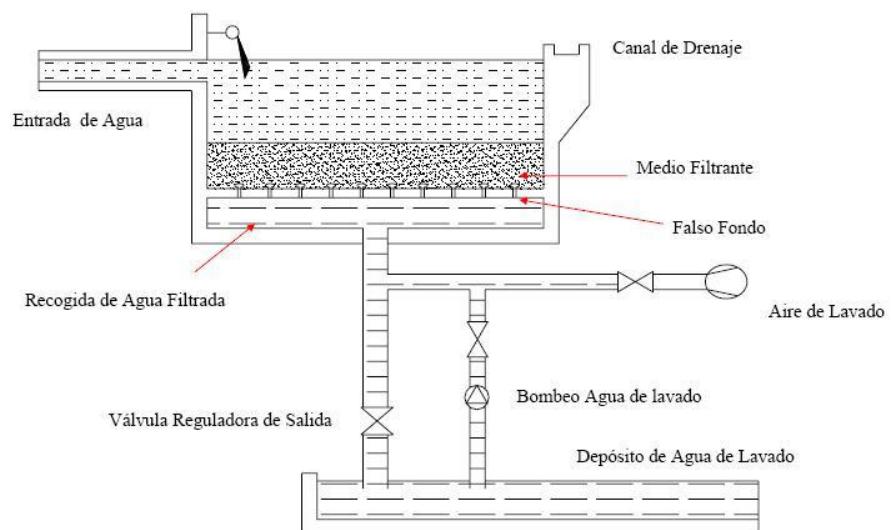
FILTRO ABIERTO POR GRAVEDAD PARTES Y FUNCIONAMIENTO



Método	Carga de lavado ($m^3/m^2 \cdot h$)	Tiempo de lavado (min)
Agua	50 - 70	15 - 20
Agua y Aire	Agua 12 - 30	10 - 12
	Aire 40 - 80	1 - 5



PARTES DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN



FASE 5.- FILTRACIÓN

FILTRACIÓN RÁPIDA Vs. FILTRACIÓN LENTA

Filtración Lenta

- La talla efectiva se encuentra entre los valores 0,15-0,35 que son muy bajos.
- Coeficiente de Uniformidad < 2.
- Velocidad de filtración: 1,2-1,4 m/h.
- Carga de Filtración (Tiempo entre Lavados) > 2 semanas.

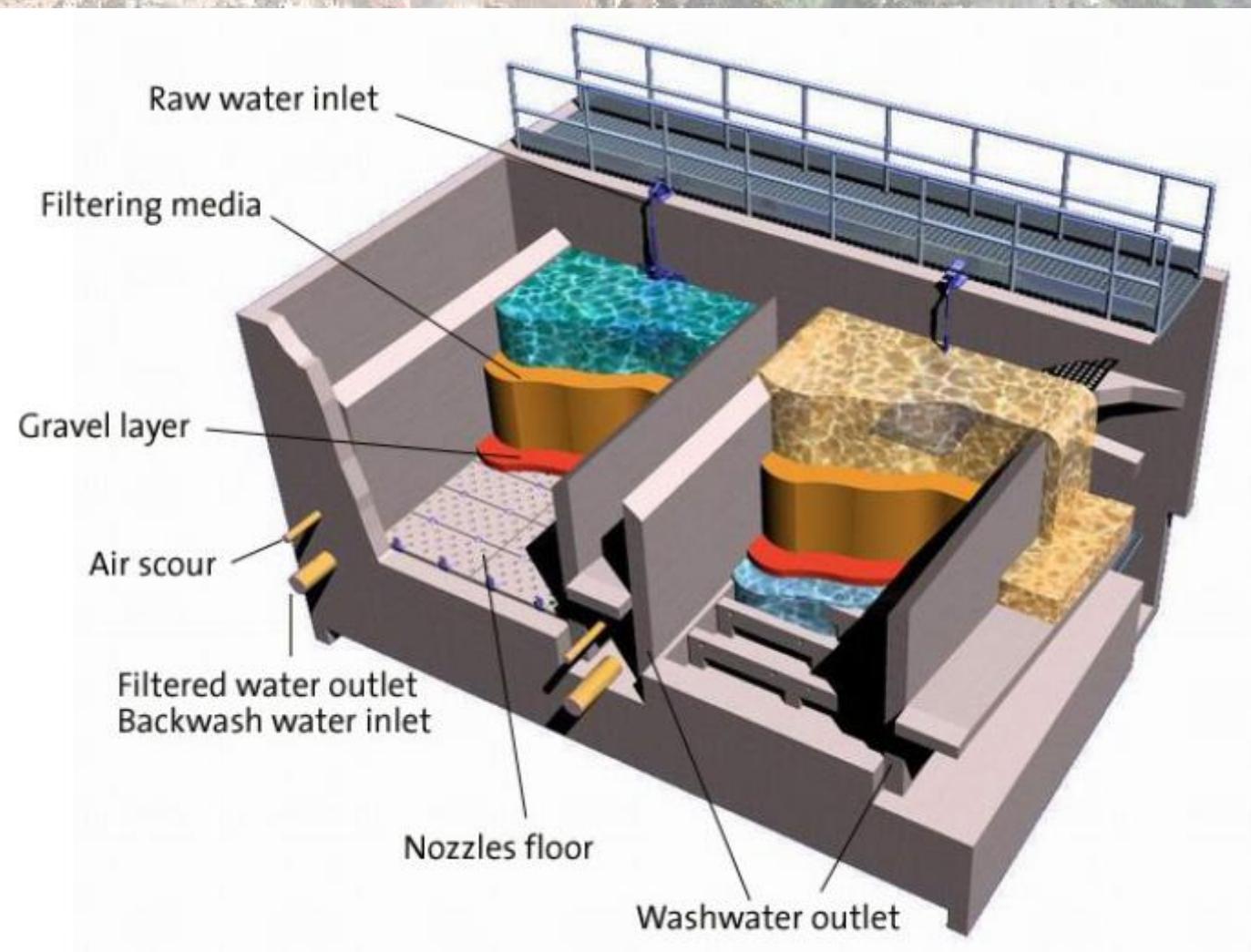
Filtración Rápida

CARACTERÍSTICAS DE LOS FILTROS RAPIDOS

Características	Monocapa	Milticapa	A presión
Material	Arena silícea	Arena silícea Antracita	Arena silicea
Espesor (m)	0.5 -1.0	0.45 – 0.7 0.85 – 1.3	0.7 – 1.2
T.E. (mm)	0.8 – 1.0	1.25 – 2.5 0.5 – 0.8	0.3 – 0.5
C.U. (mm)	1.5 – 1.8	1.5 – 1.8	1.5 – 1.8
Ch ($m^3/m^2 h$)	4 -15	10 - 15	40 - 60
Pérdida de Carga Máxima (m.c.a.)	1.5	1.5	10

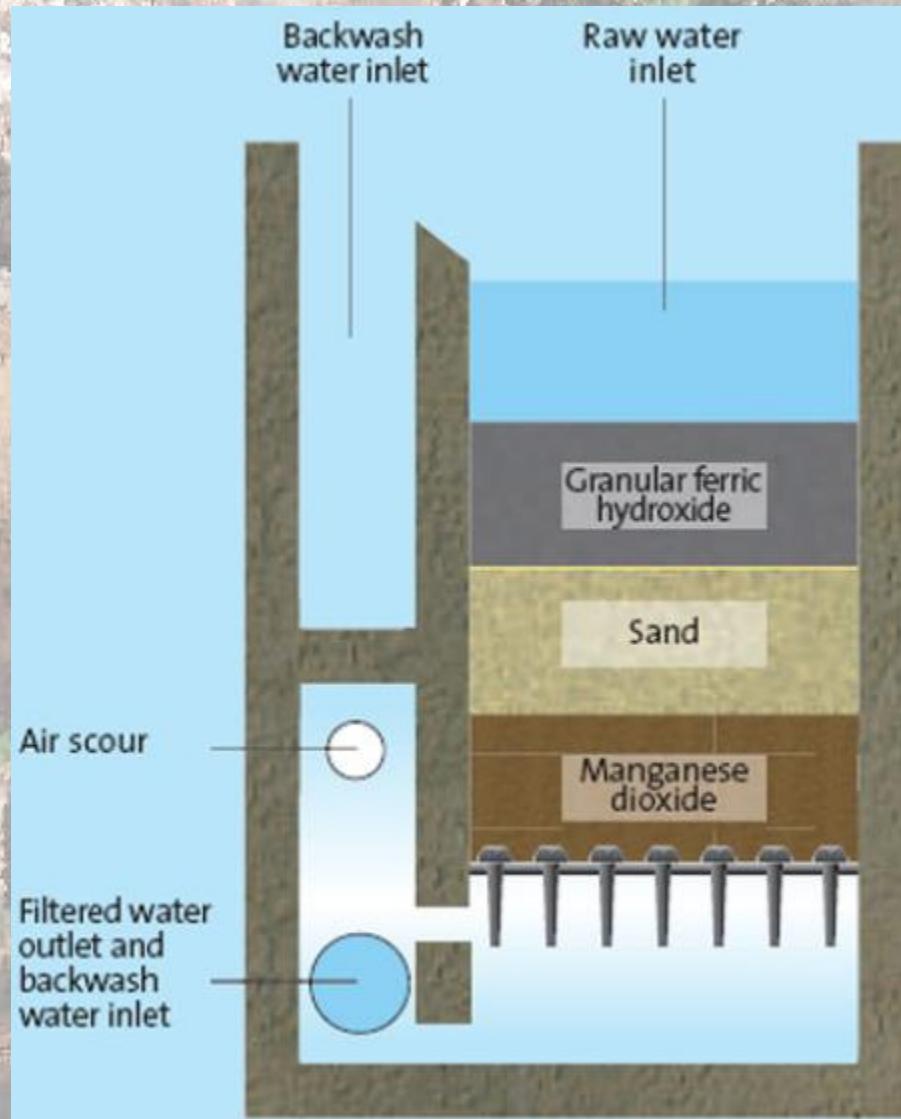
FASE 5.- FILTRACIÓN

FILTRO ABIERTO POR GRAVEDAD



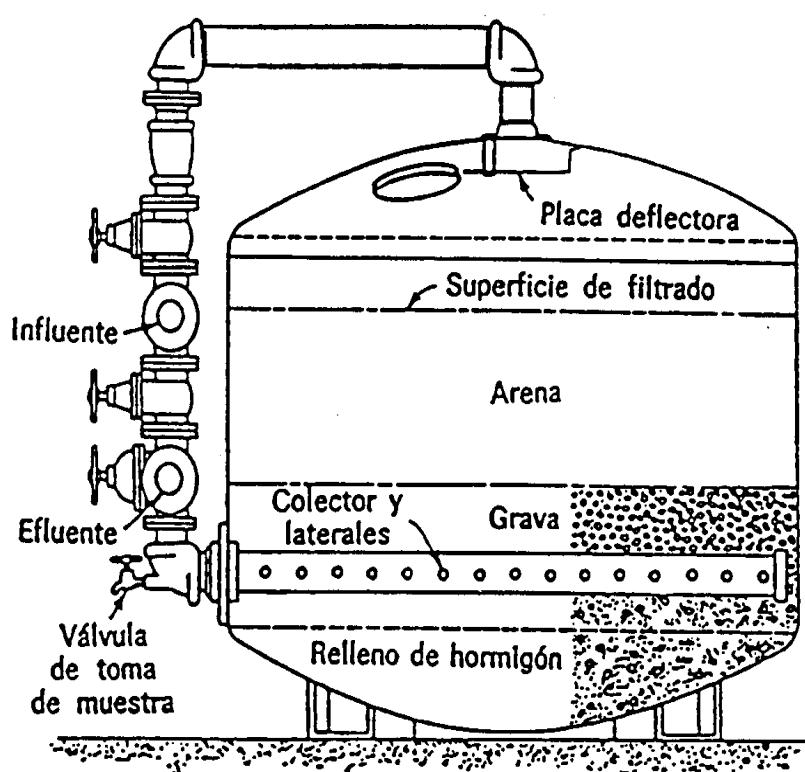
FASE 5.- FILTRACIÓN

FILTRO ABIERTO MULTICAPA Y MULTIMEDIA



FASE 5.- FILTRACIÓN

FILTRO CERRADO A PRESIÓN



FASE 5.- FILTRACIÓN

FILTROS DE CARTUCHOS

Rango de filtración: 5-10 micras.

Alternativa:

➤ **Filtros precapa.- Complejos, caros; no se usan**

El sistema más utilizado son los **filtros de cartuchos**. Los cartuchos, que suelen ser de polipropileno bobinado, extrusionado o plegado, tienen un alma o cuerpo central tubular sobre el que se enrolla (en el caso del bobinado), de modo que las partículas quedan retenidas en su superficie y el agua pasa a través del medio filtrante hacia el tubo central. Un filtro de cartuchos tiene una cantidad de unidades de filtración según el caudal a filtrar y puede ir desde un cartucho (en plantas semiindustriales) hasta grandes cantidades (p.e . 200).



FASE 5.- FILTRACIÓN

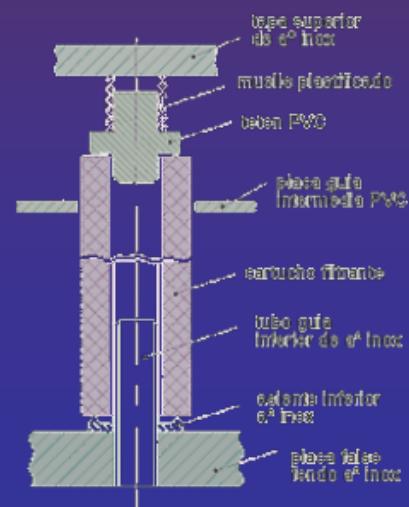
Filtros de cartuchos

El diseño de los filtros de cartuchos es sencillo y también se basa en la velocidad de filtración. Una velocidad típica de filtración de un filtro de cartuchos para ósmosis inversa puede estar en el entorno de 15 m³/h por m² y conociendo la superficie por cartucho (p.e. 0,188 m² por cartucho bobinado de 40") y el caudal a filtrar, es sencillo determinar el número de cartuchos necesario.

Los tamaños de los cartuchos están estandarizados, siendo los más comunes en plantas grandes los de 40" y 50" de longitud.

A diferencia de los sistemas de filtración sobre lechos, los filtros de cartuchos no se limpian, sino que cuando se detecta ensuciamiento los cartuchos deben ser sustituidos, debiendo considerar éstos como un elemento consumible de la instalación.

Los sistemas de filtración a presión (tanto filtración sobre sílex como cartuchos requieren de una presión de aporte, por lo que debe preverse esta pérdida de carga en los sistemas de bombeo anteriores.



FASE 5.- FILTRACIÓN

MICROFILTRACIÓN / ULTRAfiltración

Las características que diferencian a las distintas membranas MF/UF son las siguientes;

- **Química de la membrana** (lo cual implica, por ejemplo, tolerancia al cloro). Los materiales más utilizados son;

Celulósicas

Polietersulfona (PES)

Polipropileno (PP)

Polisulfona (PS)

PVDF

cerámicas

- **Tamaño de poro** (y por tanto, entre otros, rendimiento en eliminación de virus)

- **Configuración**; plana, espiral, capilar / vertical o horizontal, tubular

- **Dirección de flujo**; de fuera adentro o de dentro afuera

- **Montaje**; en caja o tubo de presión o sumergida en tanque atmosférico

- **Estructura interna**: simétricas (porosidad uniforme) o asimétricas (distribución progresiva del tamaño de poro)

- **Densidad de fibras** (caso de fibra hueca) o superficie por módulo

- **Forma de lavado**; agua a contra o equicorriente, agua y aire, aire, y lavado químico, etc.

- **Requerimientos de energía y auxiliares** (bombeos, presión, aire comprimido)

- **Tipo de filtración**: en flujo cruzado (alimentación por el interior de tubos o capilares y el agua arrastra los sólidos) o flujo frontal (la membrana actúa como barrera que retiene los sólidos que luego hay que limpiar); el flujo puede ser de fuera-adentro o al contrario

- **Forma de trabajo**; a presión o en aspiración (sumergidas)

- **Pretratamiento requerido**

FASE 5.- FILTRACIÓN

MICROFILTRACIÓN / ULTRAfiltración

Dado el gran número de sistemas de MF/UF existentes en el mercado, **no podemos generalizar** respecto a flujos específicos adecuados, presiones de trabajo, calidades de agua, etc. Si bien en general se puede decir que;

- Estos sistemas trabajan a bajas presiones (normalmente menos de 2-3 bar) y por tanto tienen un consumo energético bajo (que puede estar en el entorno de 0,2-0,3 Kw·h/m³)
- Todos trabajan con limpiezas químicas muy frecuentes
- Muchos de estos sistemas utilizan lavado con aire
- Los sistemas a presión están penalizados energéticamente respecto a los sistemas sumergidos, ya que requieren, en general, de importantes recirculaciones para mantener unos flujos altos sobre la membrana

FASE 5.- FILTRACIÓN

MICROFILTRACIÓN / ULTRAFILTRACIÓN

Es necesario llegar a este punto mencionar que la aplicación de estos sistemas como tratamientos de agua potable o para pretratamiento de los sistemas de desalación por membranas (RO y EDR), no está exenta de problemas, a pesar de proporcionar un agua de excelente calidad para estos sistemas posteriores. Algunos de estos **inconvenientes** que están ralentizando la generalización de estos sistemas son los siguientes;

- Las membranas de ultrafiltración actuales **no son intercambiables**, ya que cada fabricante las instala en módulos de diferente configuración y trabajan en condiciones distintas (de presión, caudal, etc.). Por tanto, instalado un sistema, no es posible o es de elevado coste, reconvertirlo a otro sistema distinto.
- Muchos fabricantes no venden la membrana aislada, sino que **suministran el sistema completo** y en algunos casos, la ingeniería completa y todos los sistemas auxiliares. Esto evidentemente no es interesante para las ingenierías ya que encarece excesivamente los sistemas y deja a la ingeniería fuera del diseño y comprensión del mismo.
- El **coste de las mismas es muy elevado** y llega a superar incluso al de los sistemas de ósmosis inversa, por lo cual de momento su aplicación se limita a sistemas que puedan pagar el elevado sobrecoste añadido.
- **Se incrementa la complejidad de la operación**, incluyendo nuevos sistemas de dosificación química, reposición de membranas adicional, etc.
- En muchas ocasiones **se traslada el problema de ensuciamiento** de las membranas de ósmosis inversa a las membranas de MF/UF

FASE 5.- FILTRACIÓN

DESALINIZACIÓN

Las tecnologías más utilizadas son: OI (Ósmosis Inversa), NF (Nanofiltración), EDR (Electrodialisis reversible)

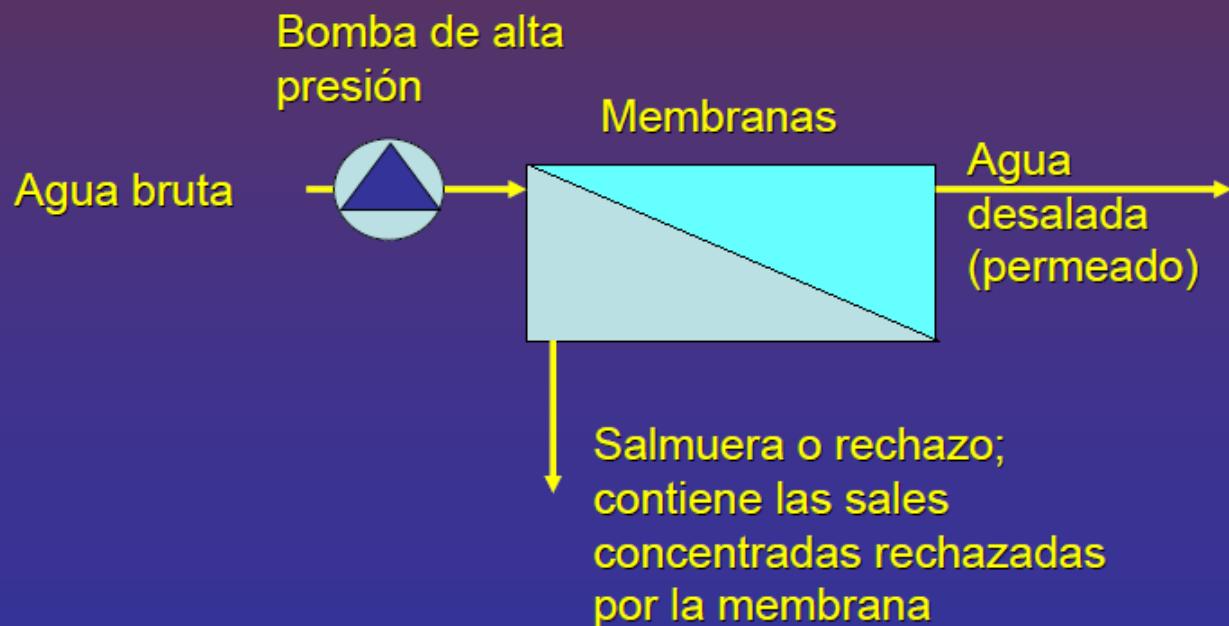
Estas tecnologías son necesarias para resolver problemas de:

- 1) Sales en general (aguas salobres)**
- 2) Sales en agua de mar (no EDR)**
- 3) Dureza**
- 4) Problemas de contaminantes específicos:**
 - 1) Nitratos**
 - 2) Boro**
 - 3) Arsénico**
 - 4) Mercurio**
 - 5) Plaguicidas**
 - 6) Trihalometanos**

FASE 5.- FILTRACIÓN

DESALINIZACIÓN – ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa se basa en impulsar agua bruta por medio de una bomba de alta presión para forzar el paso del agua a través de una membrana selectiva, dejando las sales en una corriente de concentrado.

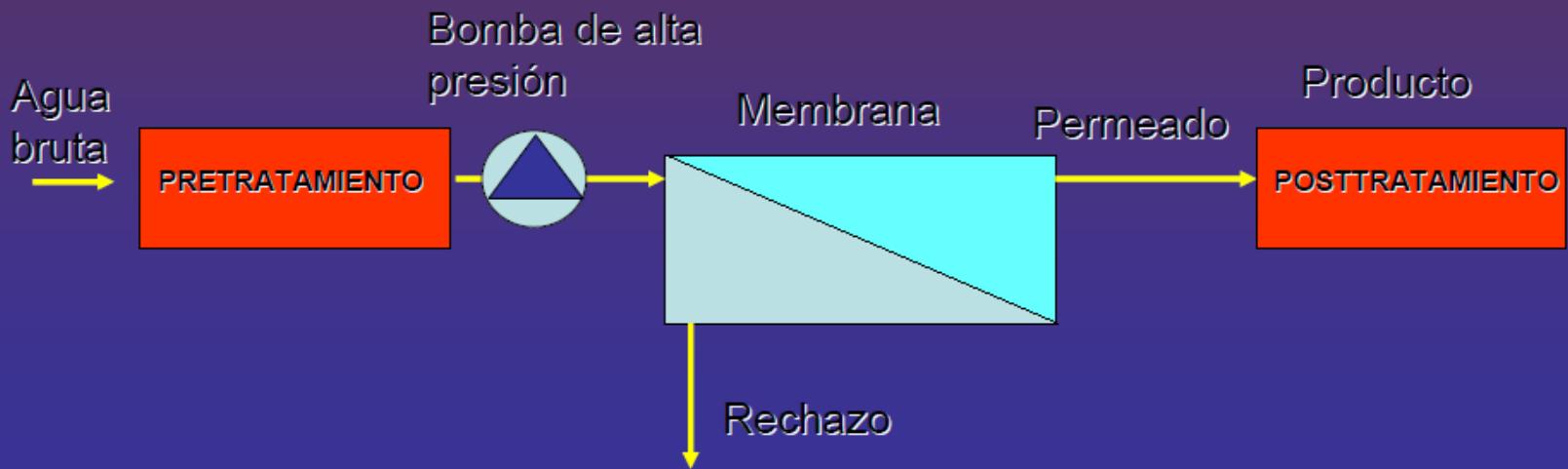


FASE 5.- FILTRACIÓN

DESALINIZACIÓN – ÓSMOSIS INVERSA

PRETRATAMIENTO; Necesario para evitar daños a las membranas (partículas, ataques químicos, ensuciamiento biológico, etc.). **FÍSICO** (Tamizado, desarenado, decantación, Filtración, microfiltración, ultrafiltración) y **QUÍMICO**

POSTTRATAMIENTO; necesario para adaptar el agua producto a los requerimientos del uso final del agua (el agua para riego, para consumo humano o para aplicaciones industriales, tienen necesidades de agua de calidad diferente)



FASE 5.- FILTRACIÓN

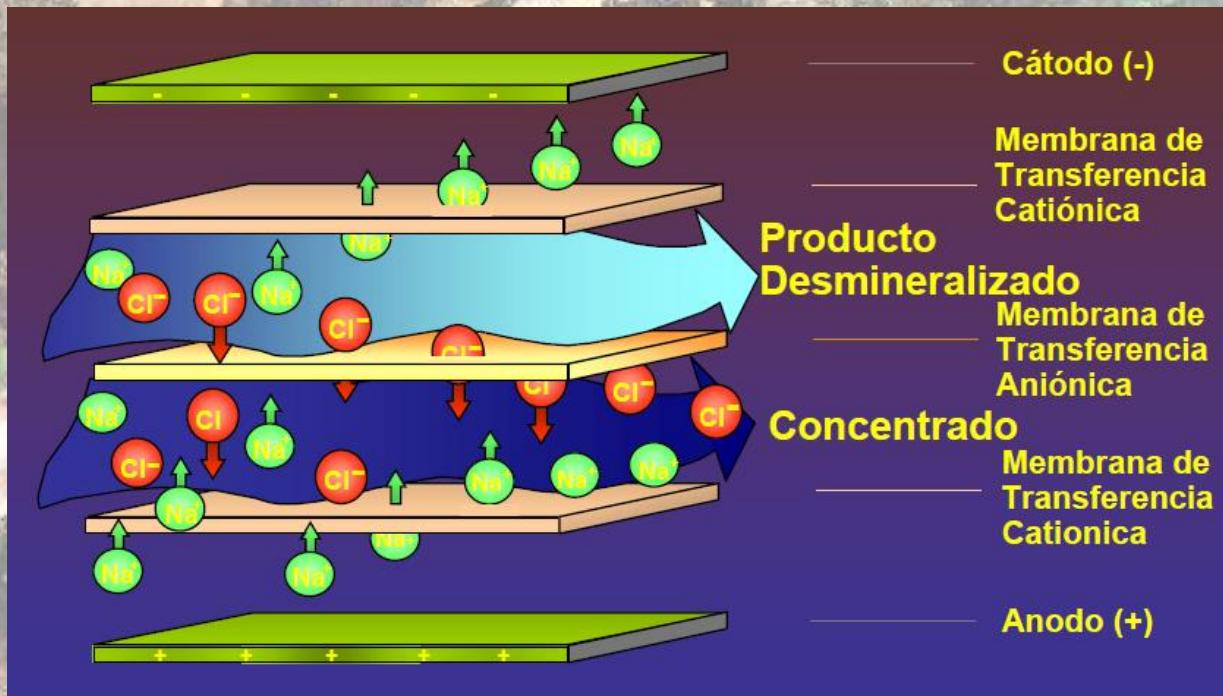
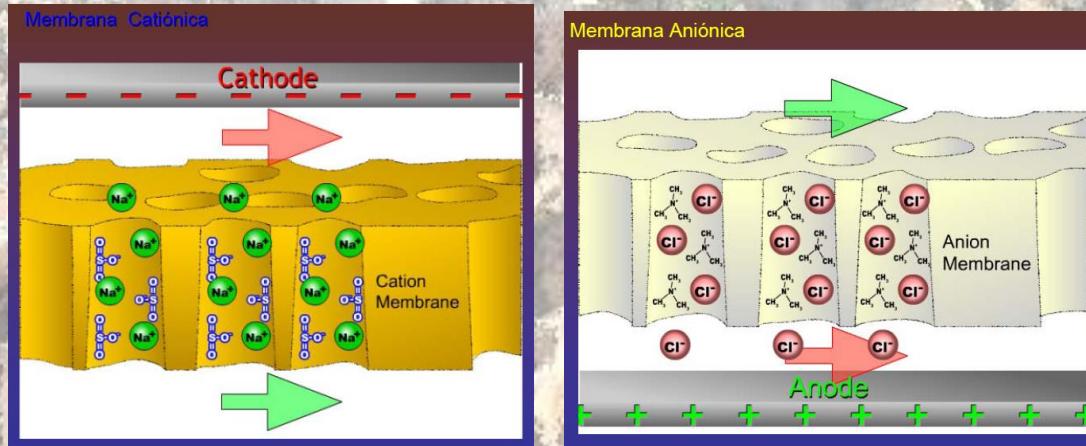
DESALINIZACIÓN – ÓSMOSIS INVERSA

DIFERENCIAS DE LA DESALACIÓN DE AGUAS SALOBRES Y AGUA DEL MAR POR ÓSMOSIS INVERSA

	AGUAS SALOBRES	AGUA DE MAR
SALINIDAD APORTE	1-10 g/l	38-40 g/l
PRESIÓN DE TRABAJO	10-20 bar	65-70 bar
CONSUMO ESPECÍFICO	0,5-1,5 Kw-h/m ³	3-5 Kw-h/m ³
CONVERSIÓN	65-80 %	40-45 %
MATERIALES EN ALTA P	AC. INOX 316	Aleaciones, Duplex
COSTES DE EXPLOTACIÓN	0,12-0,21 €/m ³	0,34-0,54 €/m ³

FASE 5.- FILTRACIÓN

DESALINIZACIÓN – EDR



FASE 6.- ACONDICIONAMIENTO FINAL/OTROS TRATAMIENTOS

6.1.- DESINFECCIÓN

En este proceso se consigue la destrucción de los microorganismos causantes de enfermedades, patógenos, presentes en el agua de consumo humano

Desinfectante ideal:

- Capacidad para destruir los microorganismos causantes de enfermedades
- Actuar a la temperatura ambiente y en un tiempo razonable
- No debe aportar o generar compuestos tóxicos al agua desinfectada
- No debe dar mal gusto, color u olor al agua
- Debe ser de fácil obtención, manejo sencillo y seguro y bajo coste
- Determinación analítica sencilla y rápida
- Efecto desinfectante residual que proteja el agua de posteriores contaminaciones en las conducciones de suministro y depósitos de almacenamiento

Desinfectantes más usados:

- **CLORO Y SUS DERIVADOS**
 - HIPOCLORITO
 - CLORO GAS
 - DIÓXIDO DE CLORO
 - CLORAMINAS
- OZONO
- SISTEMA ULTRAVIOLETA



6.1.- DESINFECCIÓN

DESINFECTANTES

Tipo	Efecto bactericida	Efecto remanente
O ₃	+++	0
Cl ₂	++	+
ClO ₂	++	+
Cloraminas	+	++
UV	++	0
Colorantes/luz visible	+	En estudio
Irradiación γ	+++	+++
UV/TiO ₂	Esterilización	En estudio

Todos presentan ventajas e inconvenientes, p.ej.:

- **No tener efecto remanente, lo que obliga a clorar**
- **Generar subproductos peligrosos: como el cloro (THMs, ácidos haloacéticos), compuestos bromados (Ozono)**
- **Algunos son peligrosos en el manejo, etc.**

6.1.- DESINFECCIÓN

DESINFECTANTES

Pueden usarse como preoxidantes: Eliminan Fe y Mn, mejoran coagulación, reducen formación de organoclorados, evita desarrollo de algas

Potencial re-dox de algunos de los desinfectantes más usados.

Desinfectante	Fórmula	Potencial re-dox. (v)
Ozono	O ₃	2,07
Dióxido de cloro	ClO ₂	1,91
Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂	1,77
Acido hipocloroso	HOCl	1,63
Cloro gas	Cl ₂	1,36
Bromo	Br ₂	1,09
Hipoclorito	ClO ⁻	0,94
Plata	Ag ⁺	0,8
Clorito	ClO ₂ ⁻	0,66
Permanganato	MnO ₄ ⁻	0,59
Yodo	I ₂	0,54

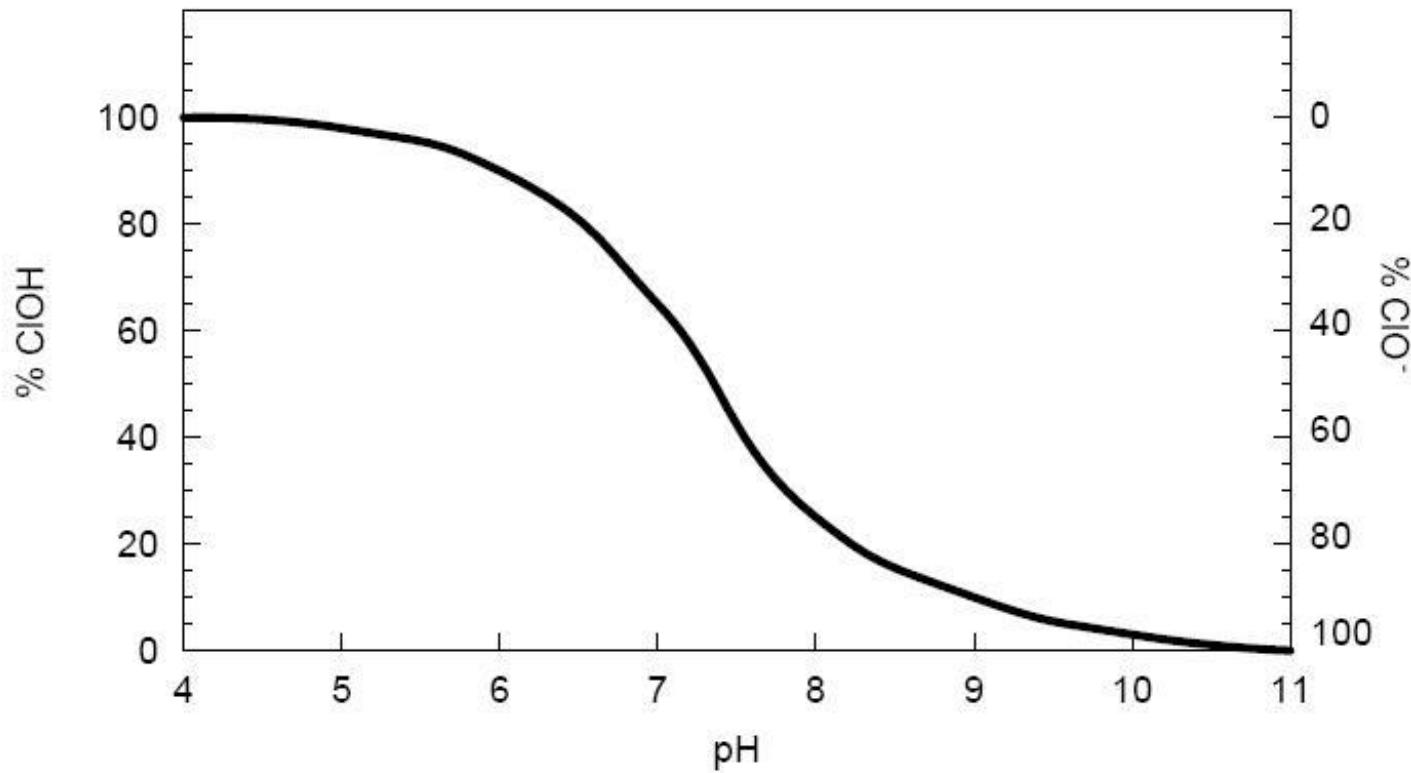
6.1.- DESINFECCIÓN

TEORÍA DE LA CLORACIÓN

MECANISMO DE ACCIÓN: actúa sobre la pared celular y elimina los microorganismos. Su presencia se va a ver condicionada por el pH del agua.

CURVA DE CLORACIÓN:

Influencia del pH en la presencia de compuestos de cloro en el agua.



6.1.- DESINFECCIÓN

TEORÍA DE LA CLORACIÓN

- ✓ Dosis óptima de Cloro libre: 0,5-1,0 ppm
- ✓ Parámetros más importantes para cálculo de dosis: Tiempo de contacto, pH, contenido de materia orgánica, temperatura, tipo de microorganismos, turbidez



- ✓ El cloro reacciona con la materia orgánica y el amonio presentes en el agua. Con éste último forma mono, di y tricloroaminas (cloro combinado), reacciones en las que se consume cloro residual.
- ✓ Para calcular la dosis óptima debemos determinar el punto crítico o breakpoint, a partir del cual el cloro no se consume en la formación de cloraminas . A partir de ese punto crítico, la cantidad de cloro añadido está en forma de cloro libre y el cloro residual aumenta en la misma medida que el añadido

6.1.- DESINFECCIÓN

HIPOCLORITO SÓDICO

El hipoclorito sódico (NaClO) se presenta en forma líquida. Normalmente en soluciones que contienen 150 g/l como cloro libre. En solución forma ClO^-, y su acción biocida dependerá del pH.

DIÓXIDO DE CLORO

Es un reactivo que se prepara in situ por reacción entre clorito sódico y ácido clorhídrico o cloro. Tiene un potencial de oxidación muy elevado y un efecto remanente importante. Se trata de un gas que a concentraciones altas (10%) puede ser explosivo. La dosis a utilizar normalmente es de unos 0,2 ppm y el tiempo de contacto 15 min.

OZONO

Es un potente oxidante capaz de reaccionar con gran cantidad de compuestos orgánicos, así como destruir virus y bacterias. Normalmente se usa en dosis de 0,5 ppm y tiempos de contacto cortos, de unos 5 min

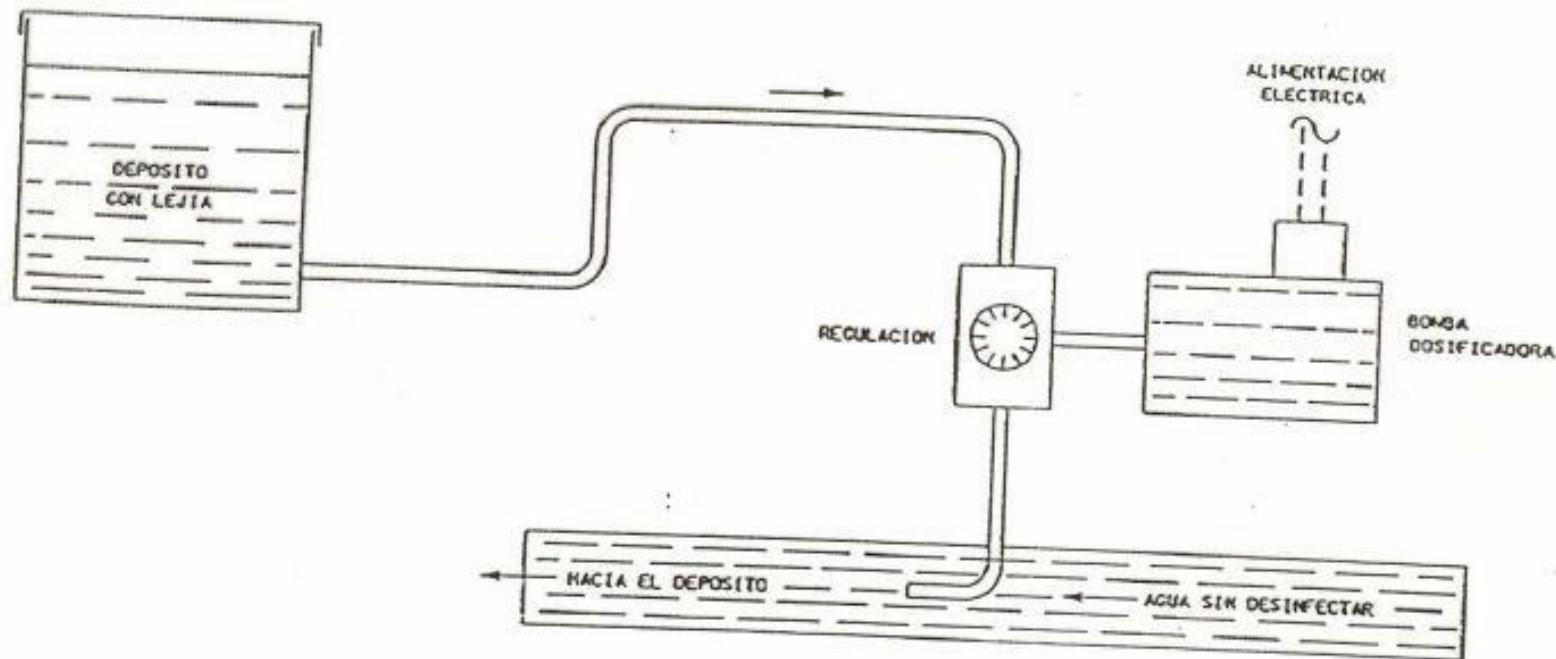
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La aplicación de la radiación ultravioleta mediante lámparas UV (normalmente de baja presión, y longitud de onda de 254 nm), se usa en aguas de baja turbidez y que no contengan gran cantidad de materia orgánica o iones en soluciones capaces de absorber dicha radiación. No tiene poder remanente. Es el sistema más limpio, inactiva directamente a los organismos y no genera subproductos

6.1.- DESINFECCIÓN

HIPOCLORITO

SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE HIPOCLORITO

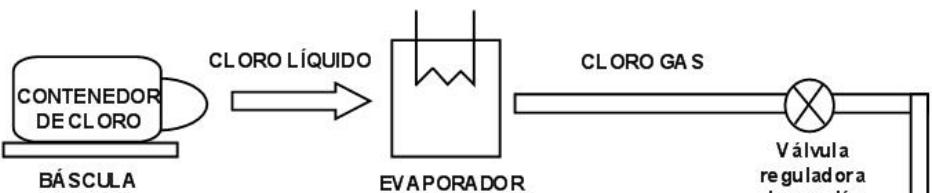


6.1.- DESINFECCIÓN

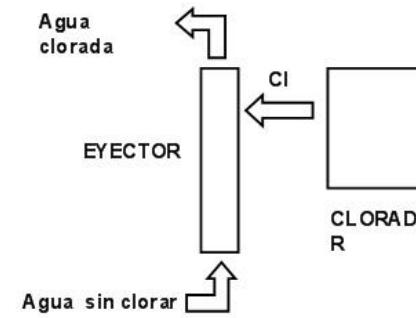
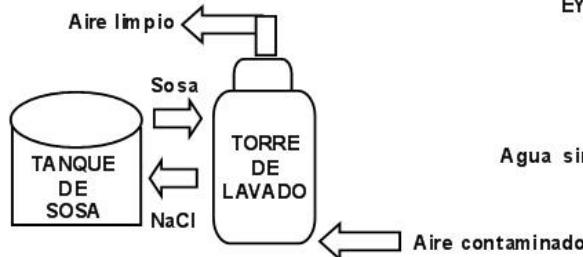
CLORO GAS



ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE CLORO

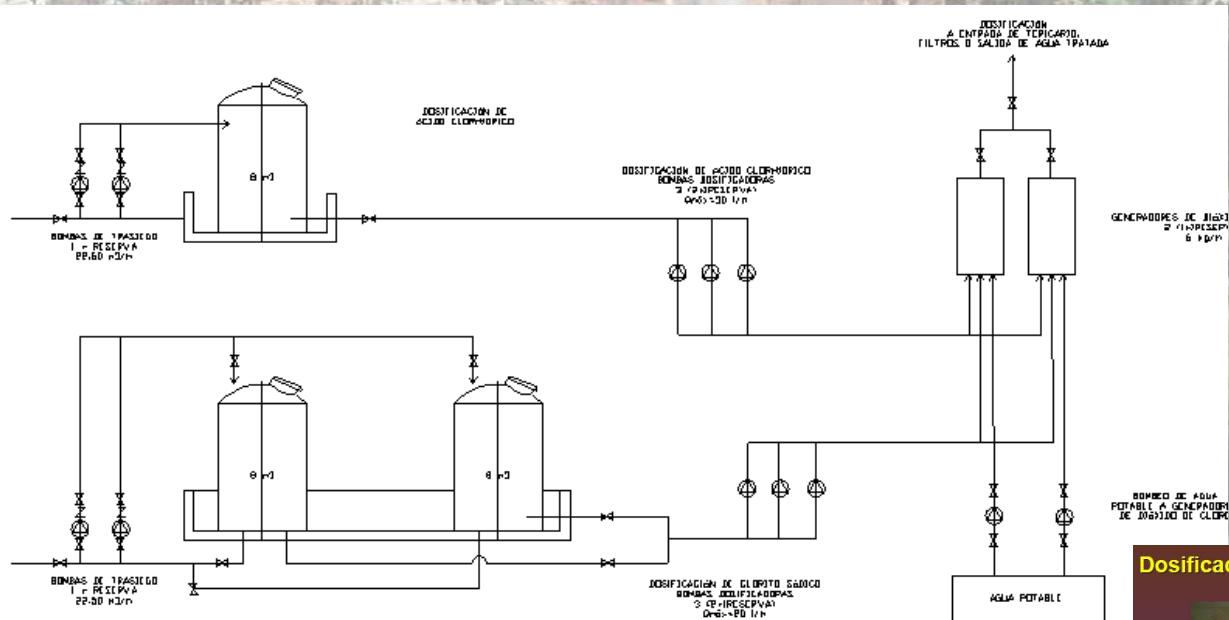


ABSORCIÓN DE FUGAS



6.1.- DESINFECCIÓN

DIÓXIDO DE CLORO



Dosificación de dióxido de cloro; Clorhídrico + clorito sódico

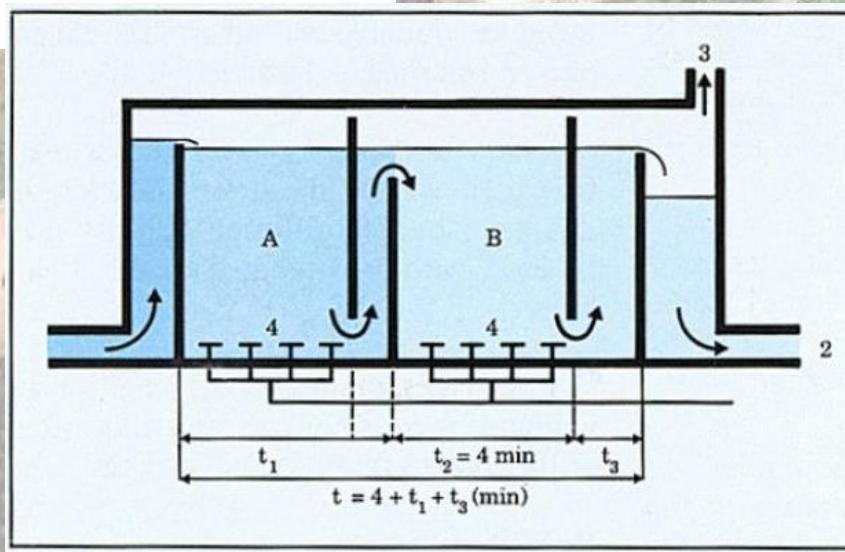
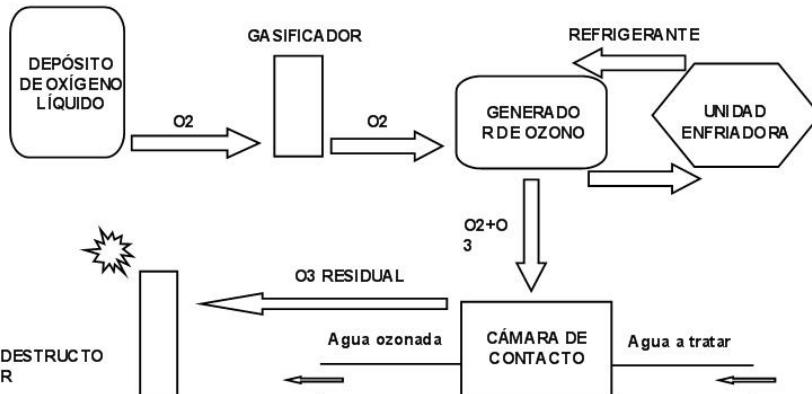


6.1.- DESINFECCIÓN

OZONO

El ozono se puede generar a partir del aire o de oxígeno puro. El ozono se forma por excitación eléctrica del oxígeno, aplicando voltajes de 6000-18000 V.

ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE OZONO



- 1 - Water inlet.
- 2 - Water outlet.
- 3 - Outlet for ozonized gas (to atmosphere or ozone destruction stage).
- 4 - Injection of ozonized gas.
- A-B - Contact chambers.

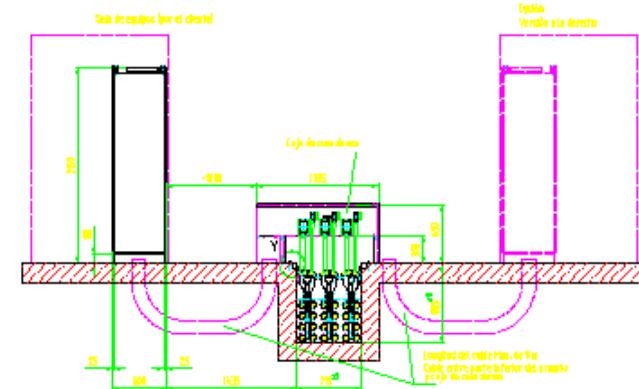
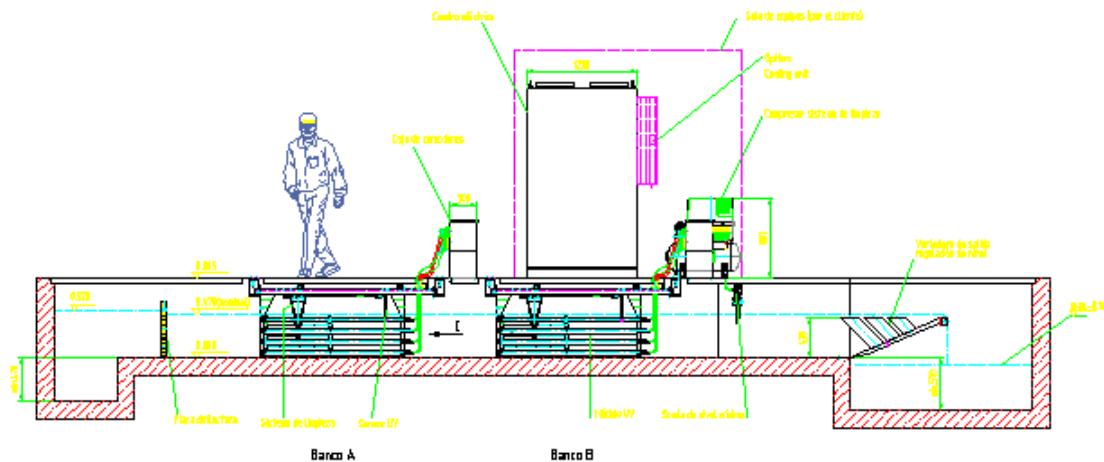
6.1.- DESINFECCIÓN

RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Radiación UV en tubería



Radiación UV en canal



6.1.- DESINFECCIÓN

PERMANGANATO.. Puede provocar precipitados de Mn y es caro



6.2.- NEUTRALIZACIÓN

Es la corrección del pH del agua. Operación muy frecuente.

La reacción básica de neutralización es de la forma:



Suele realizarse mediante:

- Mezcla de distintas aguas
- Con agentes químicos (Hidróxido cálcico o sódico para ↑pH; Ácido fuerte como Ac. Clorhídrico o sulfúrico para ↓pH)
- A través de rellenos

6.3.- PRECIPITACIÓN

Para eliminar determinados componentes formando precipitados

Casos típicos:

ELIMINACIÓN DE CALCIO Y MAGNESIO – ABLANDAMIENTO

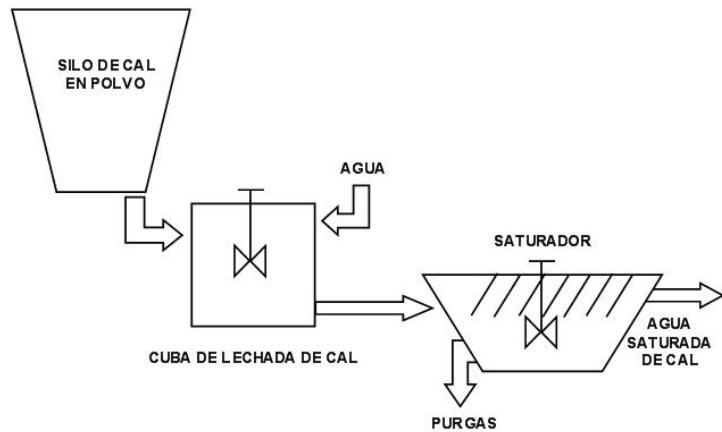
Consiste en la Reducción de la dureza

Suele realizarse mediante:

- Descarbonatación
- Carbonato sódico
- Hidróxido cálcico o Hidróxido sódico (Sosa cáustica)
Dosificación previa a la decantación

ELIMINACIÓN DE SULFATOS, FLUORUROS, FOSFATOS, METALES, SILICE, ETC.

ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE HIDRÓXIDO CÁLICO



AJUSTE DEL pH - CAL

6.4.- REMINERALIZACIÓN

La remineralización es la operación por la cual se añaden sales a un agua para acondicionarla a su uso. Es el caso, por ejemplo, de las aguas desaladas, en las cuales a menudo es necesario añadir ciertos iones para hacer el agua apta para consumo.

Los modos más comunes de remineralización son;

- Mezcla con aguas de menor salinidad (siempre que sea posible)
- Adición de bicarbonato sódico y sal cálcica; se introducen en el agua simultáneamente iones bicarbonato HCO_3^- (en forma de bicarbonato sódico) e iones Ca^{2+} (generalmente en forma de cloruro cálcico o a veces sulfato cálcico)
- Adición de CO_2 y cal o carbonato cálcico
- Bicarbonato sódico y cal
- Carbonato sódico y CO_2
- Ácido sulfúrico y carbonato cálcico
- Remineralización por paso sobre lechos de calcita, dolomitas, cuarzo, etc.

Normalmente la remineralización suele ser simultánea (voluntariamente o no) con la corrección del pH

6.4.- REMINERALIZACIÓN

Tratamiento relacionado con el concepto de agresividad del agua:

-Agresividad del Agua: Un agua agresiva corrode y disuelve; cuanto menos salina o más ácida sea un agua, más poder de corrosión poseerá.

-Problema de Incrustación: Se trata del caso contrario al anterior. A nivel doméstico (lavadora, lavavajillas etc.) se origina como consecuencia del uso de un agua dura, que posee alta temperatura y es alcalina.

6.5.- EVAPORACIÓN

Los procesos de evaporación se basan en evaporar agua y condensarla posteriormente para obtener un agua libre de sales y otras sustancias; puede considerarse como una tecnología de desalación.

Es muy caro, por lo que, en general, se utiliza sólo para agua de mar o de muy alta salinidad, ya que el coste de la evaporación es el mismo independientemente de la salinidad del agua.

Se usa también para reducción de volumen de vertidos y sistemas de vertido cero

6.6.- INTERCAMBIO IÓNICO

Esta tecnología consiste en intercambio de iones entre un material de intercambio y un líquido. Tiene lugar al hacer pasar el líquido por un lecho del material de intercambio, el intercambiador (resina). Hay intercambiadores aniónicos y catiónicos

Cuando la resina está agotada, es necesario regenerarla. Las resinas son muy caras, por lo que sólo se usa en casos excepcionales

Uso típico: Desendurecimiento, Descarbonatación, Desmineralización, Eliminación de iones específicos

6.7.- ADSORCIÓN

El adsorbente más utilizado es el **carbón activo**. Se obtiene a partir de diversos sustratos carbonatados, obteniéndose un producto con una superficie específica muy elevada y una variedad de tipos y tamaños de poro.

Los filtros de carbón activo se lavan periódicamente, pero una vez saturados, se regeneran mediante diversos métodos.

PRINCIPALES APLICACIONES:

-Como tratamiento de afino en agua potable o aguas de proceso industriales. En este caso el carbón retiene la materia orgánica disuelta; microcontaminantes, sustancias que aportan sabor, olor o color al agua y ciertas trazas de metales pesados

6.7.- ADSORCIÓN

MODOS DE APLICACIÓN:

- Carbón activo en polvo (PAC), generalmente combinado con un proceso de clarificación
- Carbón activo granular, instalado en un filtro

Ventajas del carbón en polvo:

- PAC es 2 ó 3 veces menos caro que el carbón granular
- Se pueden adicionar cantidades en exceso para reducir picos de contaminación
- La Adsorción es más rápida ya que la superficie disponible está directamente más accesible
- El carbón activo mejora la decantación haciendo flóculos más pesados

Como principal desventaja, el carbón activo en polvo no puede ser regenerado cuando se mezcla con hidróxidos y se convierte en consumible. Asimismo, es difícil predecir los picos de contaminación para optimizar su dosificación

6.8.- DOSIFICACIÓN DE FLUOR



DOSIFICACIÓN DE FLUOR.- En desuso por razones sanitarias

7.- ESQUEMAS DE ETAPs



ESQUEMA GENERAL DE ETAPs

ESQUEMAS DE TRATAMIENTO

- A. Pretratamiento (Preoxidación) → Coagulación/Floculación →
Decantación → Filtración Arena → Desinfección(cloro)
- B. Pretratamiento → Preozonización → Coagulación/Floculación
Decantación
→ Filtración Arena → Postozonización → Cloración
- C. Algunas ETAP incorporan C. Activo
- D. Se utilizan las membrana como etapa de Afino

ESQUEMA GENERAL DE ETAPs

LAS MEMBRANAS COMO TRATAMIENTO DE AFINO

- ETAP ATABAL (Málaga) Salinidad 6 gr/l Proceso OI
- ETAP ABRERA (Barcelona) Trihalometanos Proceso EDR
- ETAP ALMOGUERA-ALGODOR Sulfatos Proceso OI
- ETAP S. JOAN DESPI Bromatos, conductividad Proceso OI

ESQUEMAS DE ETAPAS - DESALADORAS



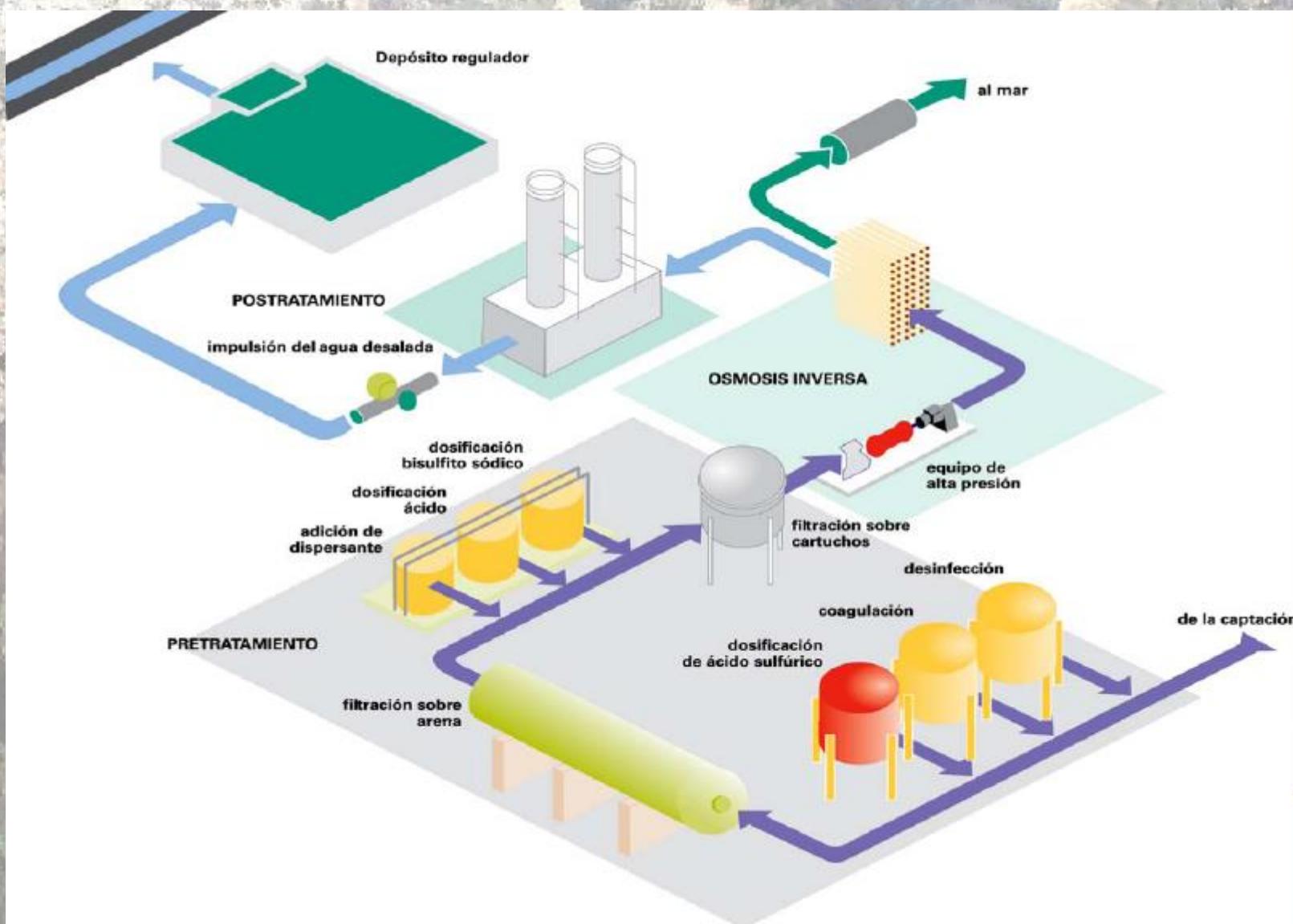
- Abierta
- Pozos

- Turbidez y sólidos en suspensión
- Ajuste Ph
- Inhibir formación compuestos que obstruyan ó precipiten sobre membranas
- Impedir desarrollos biológicos
- Mejorar SDI

- Conversión 50%

- Remineralización (agua con bajo ph y alto CO₂)
- Desinfección (Cloro residual)

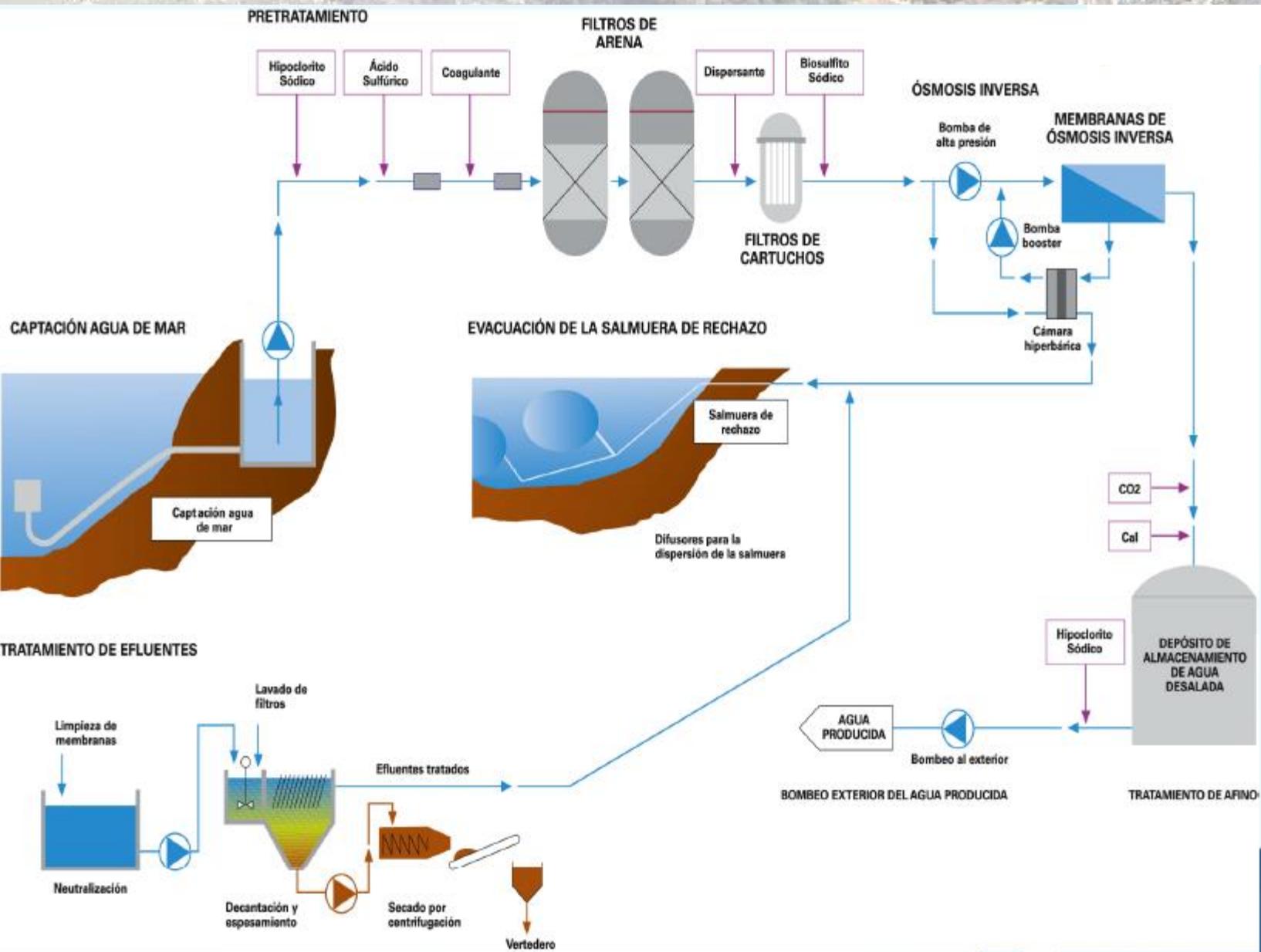
ESQUEMAS DE ETAPAS - DESALADORAS



ESQUEMAS DE ETAPS - DESALADORAS



ESQUEMAS DE ETAPAS - DESALADORAS



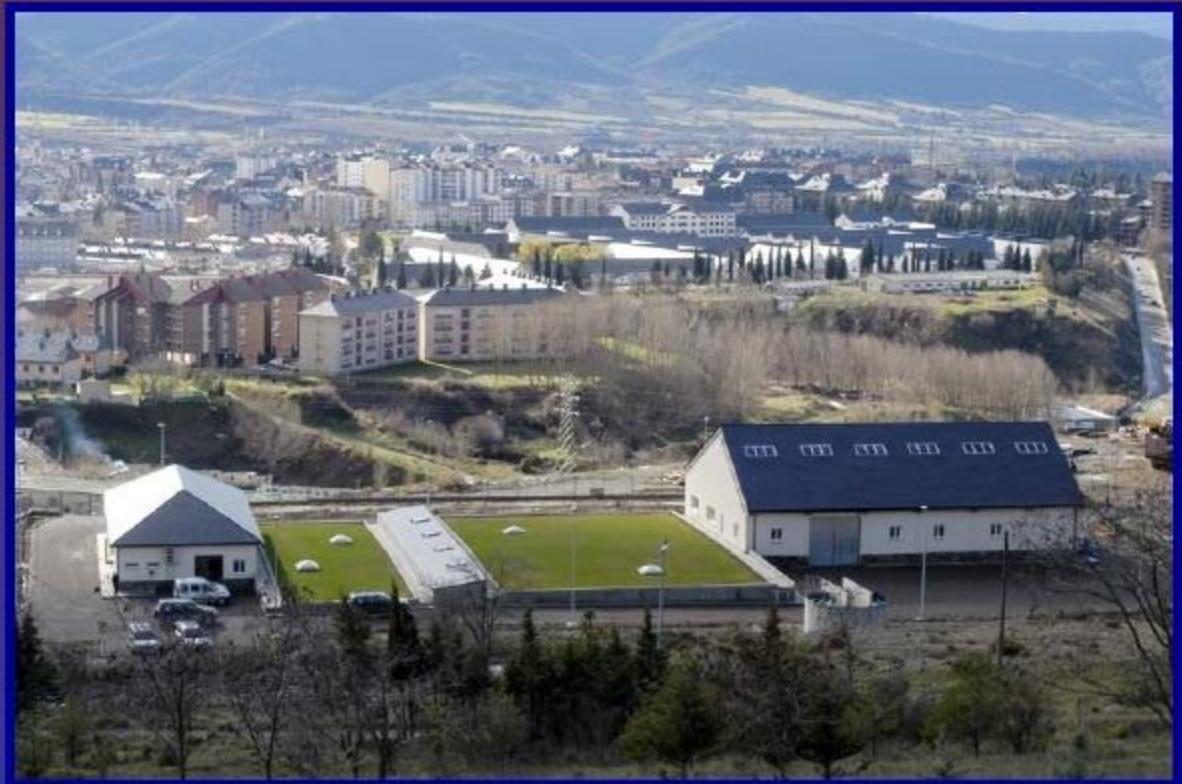
ESQUEMAS DE ETAPAS - DESALADORAS



ESQUEMAS DE ETAP CONVENCIONAL

Potabilizadora de Jaca (DGA)

26.000 m³/día



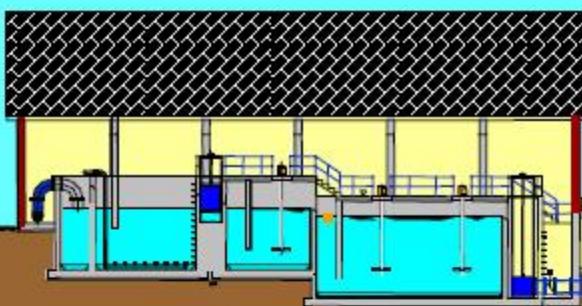
ESQUEMAS DE ETAP CONVENCIONAL



Edificio de tratamiento físico-químico



Edificio de control y
bombeo de agua
producto



Edificio de decantación

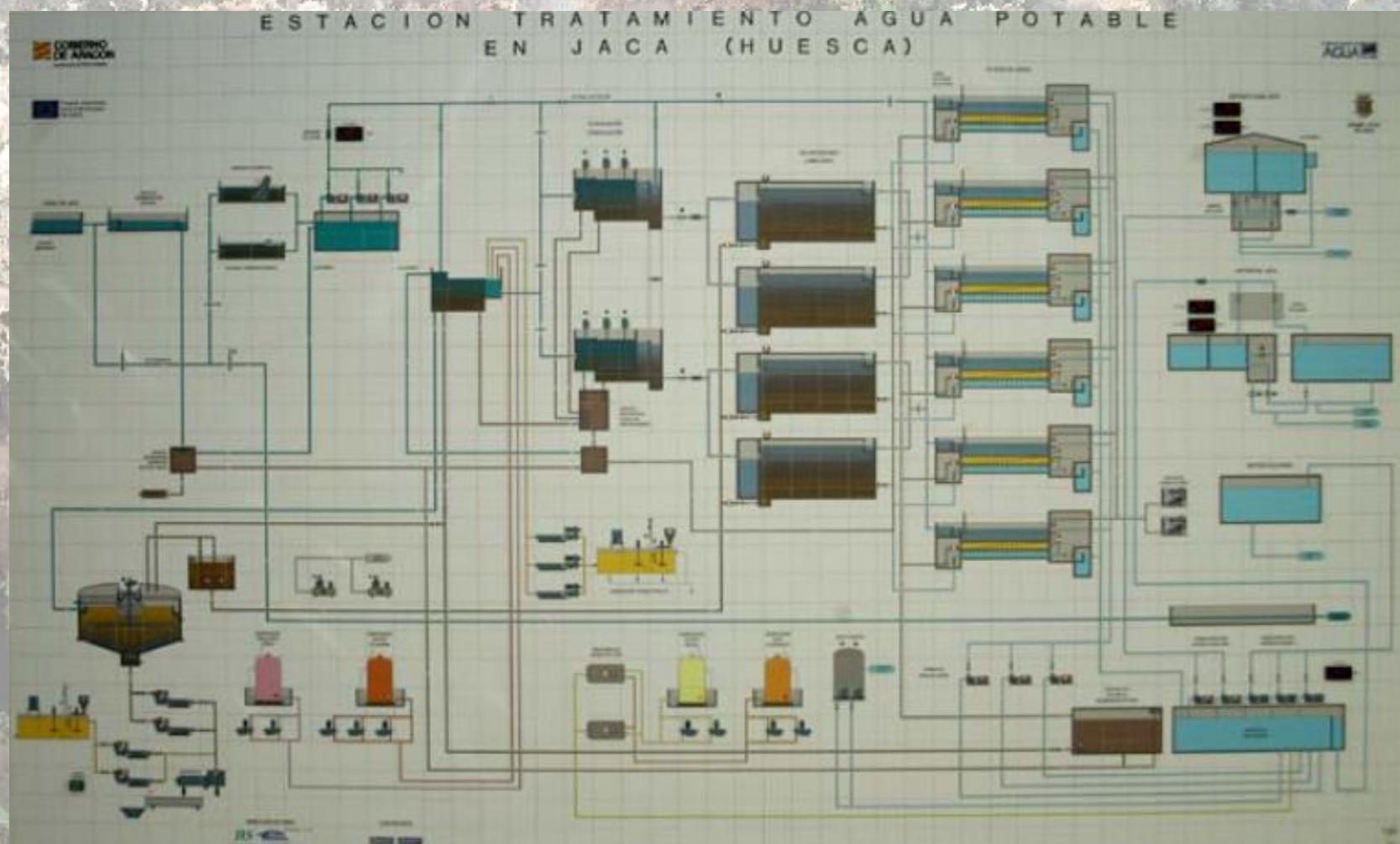


Edificio de
filtración



PLANTA POTABILIZADORA DE
JACA (HUESCA)

ESQUEMAS DE ETAP CONVENCIONAL



ESQUEMAS DE ETAP CONVENCIONAL



Canal de entrada de agua



Reja automática



Casetas de bombeo



Tamizado



Bombeo a tratamiento



Entrada de agua a tratamiento y medida de caudal

ESQUEMAS DE ETAP CONVENCIONAL



Reparto a líneas



Tanques de almacenamiento de productos químicos



Bombas dosificadoras de productos químicos



Equipo de preparación automática de polielectrolito



Cámaras de mezcla y floculación

ESQUEMAS DE ETAP CONVENCIONAL



Decantación lamelar



Detalle de lamelas



Filtración sobre arena



Soplantes de lavado de filtros



Bombas de lavado de filtros

ESQUEMAS DE ETAP CONVENCIONAL



Dosificación de dióxido de cloro



Compresores red de aire



Sonda de análisis multiparamétrica



Espesado de fangos por gravedad



Centrífuga para secado de fangos



Cuadros eléctricos



UNIVERSIDAD DE GRANADA
E.T.S.I. DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

TRATAMIENTO DE AGUAS POTABLES *ETAPs*

FRANCISCO OSORIO ROBLES
Catedrático de Universidad
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
fosorio@ugr.es