



CONASA
Consejo Nacional de Agua
Potable y Saneamiento



para todos
por siempre
AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN HONDURAS

Plantas de Filtración Rápida y su operación y mantenimiento



Ing. Pedro E. Ortiz B.



Octubre 2020

Objetivos del Tratamiento

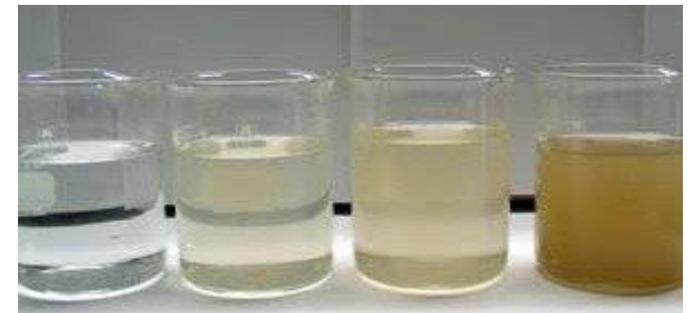
Objetivos del tratamiento

Los objetivos del tratamiento para mejorar la calidad del agua de abastecimiento son de los siguientes tipos:

Higiénico: remover **bacterias** y elementos venenosos o nocivos, así como resolver la **mineralización excesiva** y las concentraciones elevadas de **compuestos orgánicos**, **protozoarios** y otros microorganismos.

Estético: corregir el **color**, la **turbidez**, el **olor** y el **sabor**.

Económico: reducir la **corrosividad**, la **dureza**, el color, la turbidez; reducir las concentraciones de **hierro** y **manganeso**; resolver problemas de olor y sabor, etcétera.



Operaciones unitarias empleadas en el tratamiento de agua

✓ TRANSFERENCIA DE SÓLIDOS

Cribado, sedimentación, flotación y filtración

✓ TRANSFERENCIA DE IONES

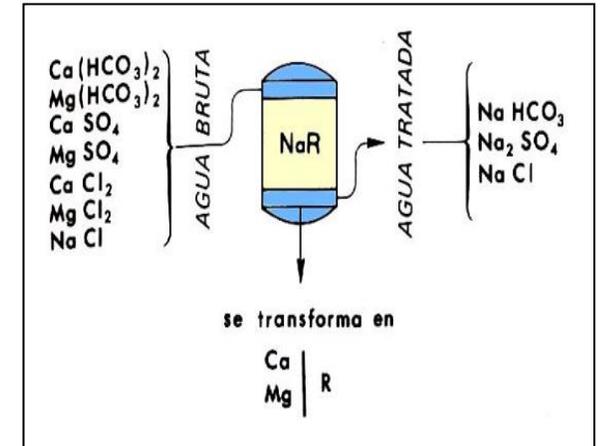
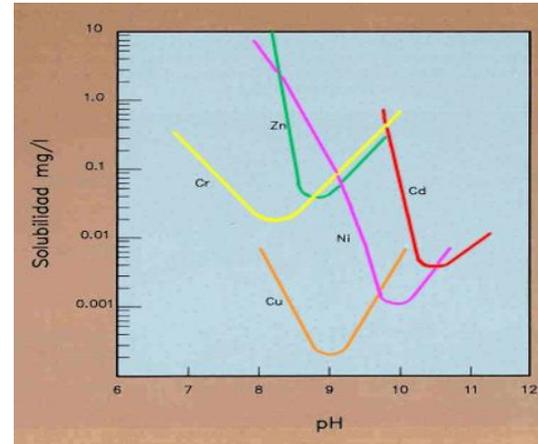
Coagulación, precipitación química, absorción e intercambio iónico

✓ TRANSFERENCIA DE GASES

Aireación, desinfección, recarbonatación

✓ TRANSFERENCIA MOLECULAR O DE NUTRIENTES

Degradación de la materia orgánica



Otras Operaciones Unitarias

✓ ESTABILIZACIÓN DE SOLUTOS

- Transformación de CO_2 , en HCO_3^- , H_2S en SO_4

✓ DESALINIZACIÓN

- Remoción de Cl^-

✓ FLUORACIÓN

- Adición de fluor



Tecnologías de filtración por membranas

Los procesos incluidos en la Tecnología de Membranas son:

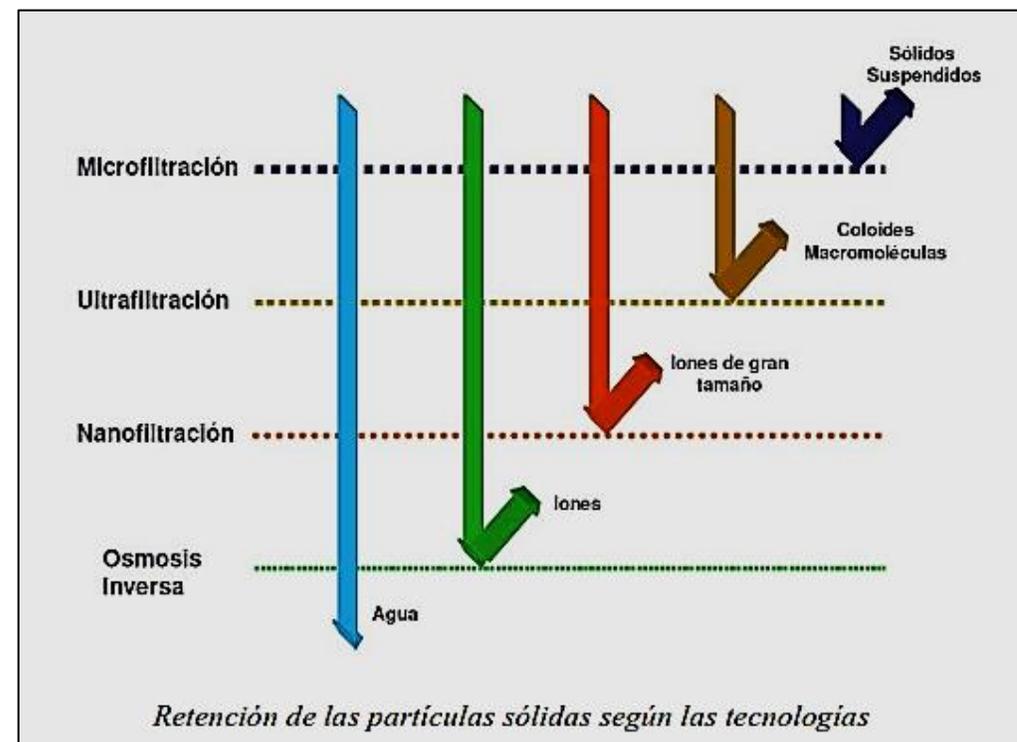
1. **Microfiltración (MF)**
2. **Ultrafiltración (UF)**
3. **Nanofiltración (NF)**
4. **Osmosis Inversa (OI)**

Cada uno de estos procesos se aplica para retener partículas de diferente tamaño.

A su vez, todos ellos actúan bajo el principio de la fuerza impulsora (presión).

Así pues, debido al carácter abierto de las membranas, en los dos primeros procesos (MF y UF) **su productividad es alta** y las diferencias de **presión requeridas son bajas**.

En los procesos NF y OI) en cambio, la **presión** requerida para realizar el filtrado es mucho más **alta** que la requerida para la MF y UF, mientras que la **productividad es mucho más baja**.

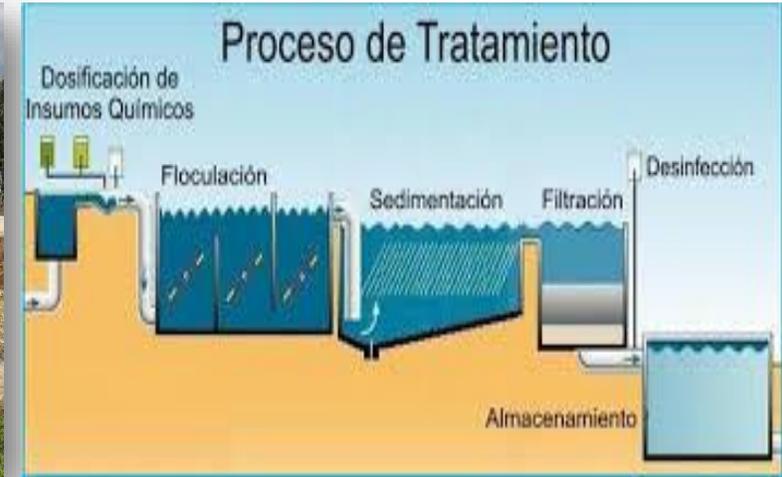


Plantas de filtración Rápida

- Planta de Filtración Rápida, completa
- Plantas de filtración directa

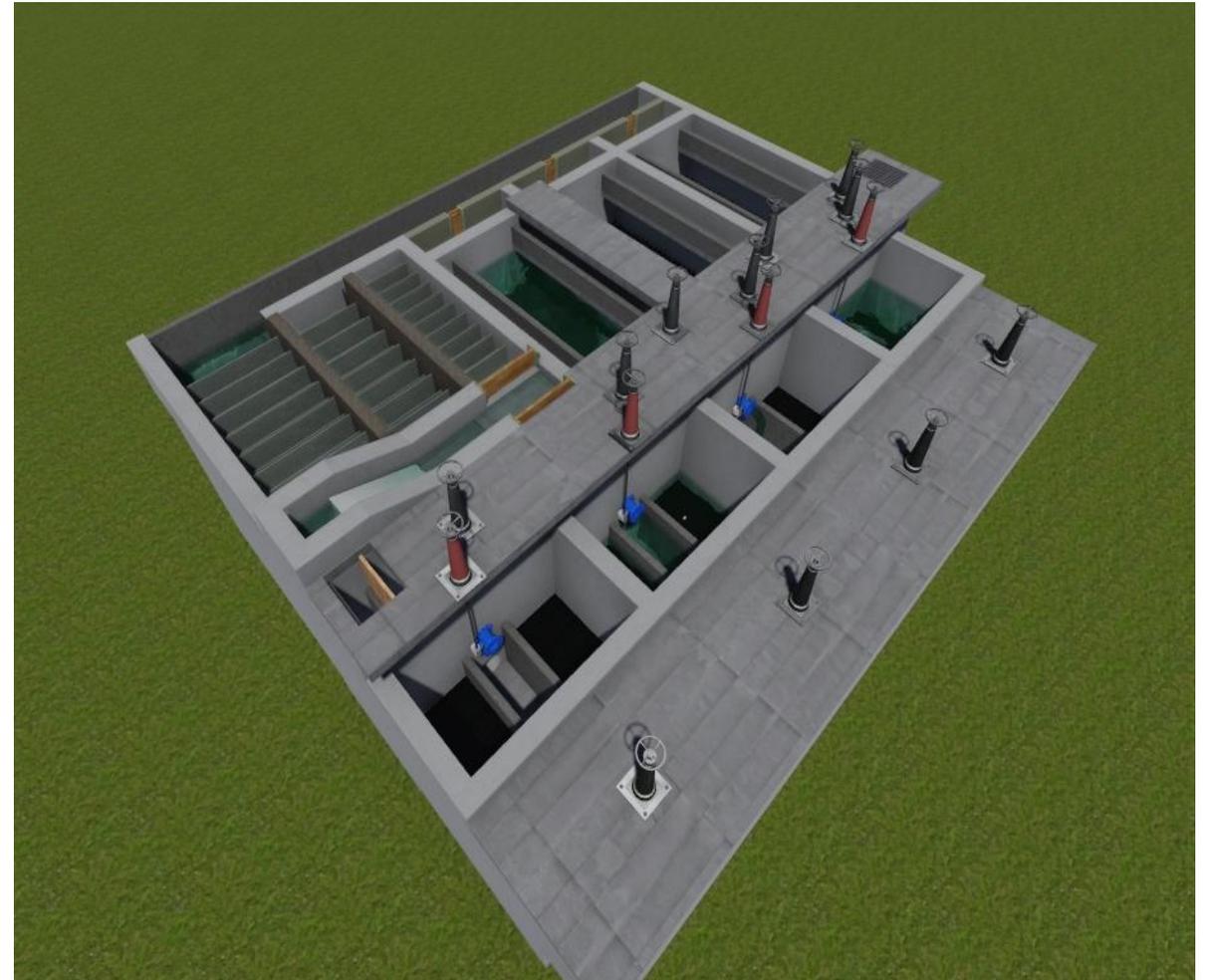
Tecnología Empleada

- **Plantas convencionales**
 - Convencional clásico
 - Tecnología apropiada
- **Plantas patentadas o paquetes**



Planta de filtración Rápida completa

- ✓ **Mecanismos de remoción:** Físicos y químicos.
- ✓ **Procesos:** Coagulación, Decantación, Filtración y Desinfección.
- ✓ **Tasas de decantación y filtración:** altas
- ✓ **Área de terreno:** menor (80 – 100 veces < P.F.L.)
- ✓ **Requisitos:** recursos humanos calificados, económicos y materiales para su O&M.

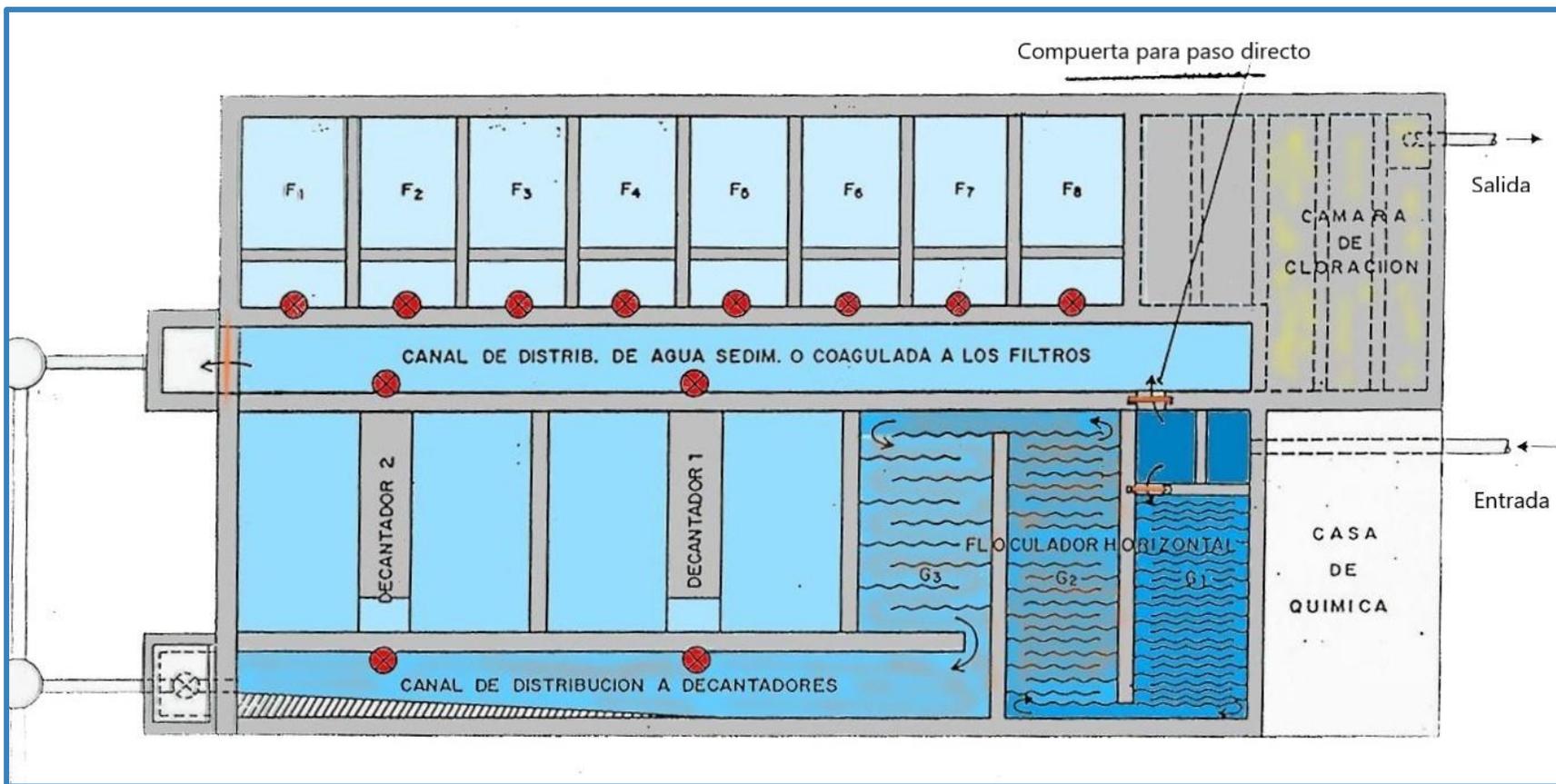


Limites de calidad del agua cruda aceptables para el tratamiento mediante Filtración Rápida Completa

PARÁMETRO	90% DEL TIEMPO	80% DEL TIEMPO	ESPORÁDICAMENTE
Turbiedad (UNT)	< 1.000	< 800	< 1.500; si excede considerar presedimentación
Color (UC)	< 150	< 70	
NMP Coliformes Termotolerantes	< 600		Si excede, se debe considerar predesinfección

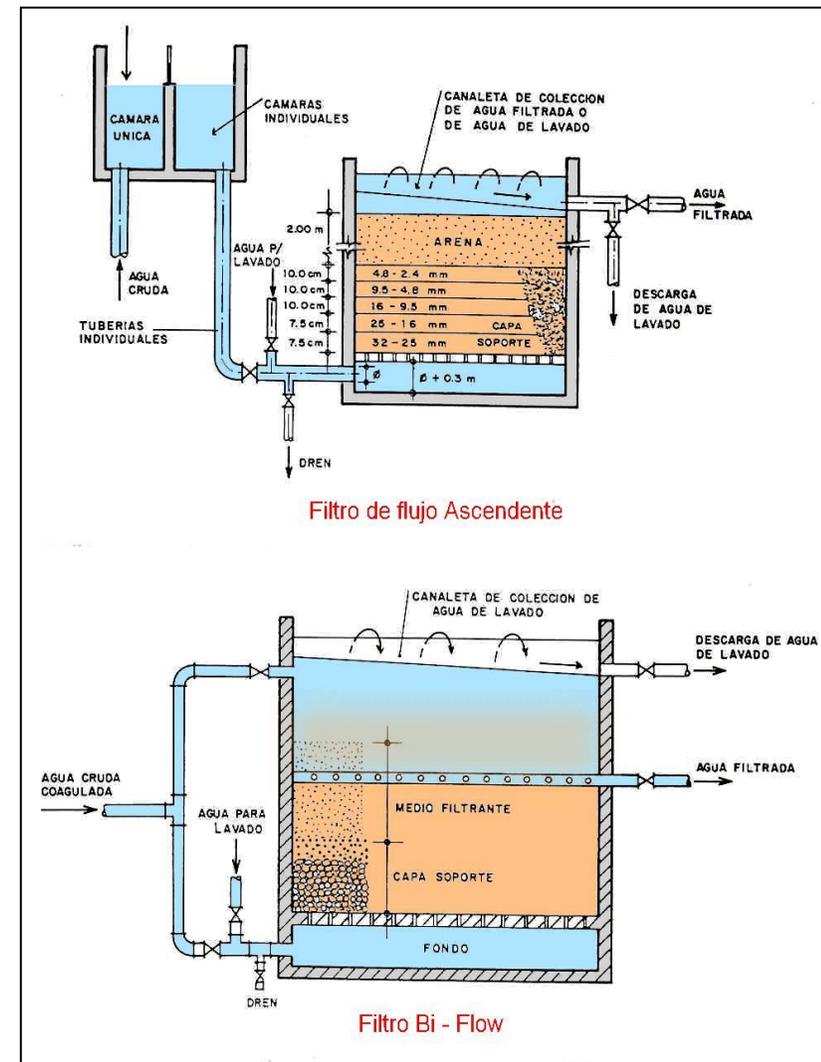
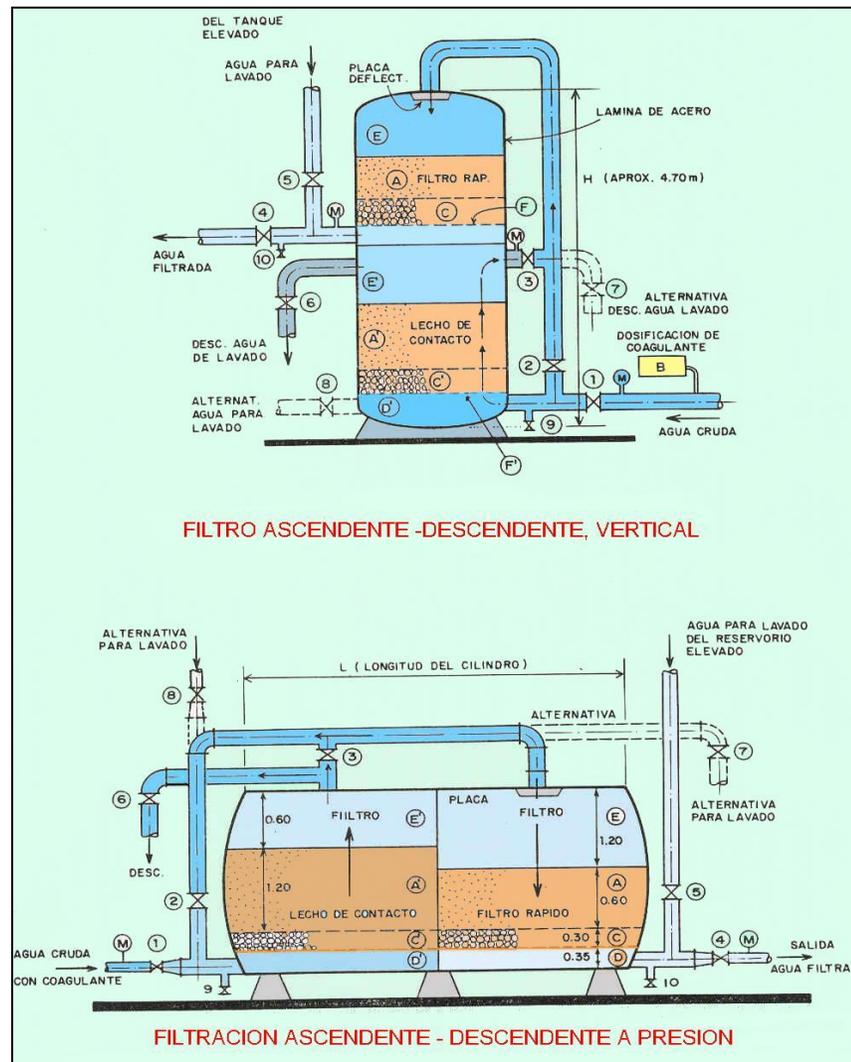
Plantas de filtración directa, aplicación

- **Procesos:** Mezcla rápida, Filtración y Desinfección.
- Requiere calidad constante, aguas claras y poco contaminadas
- Ofrecen economía en consumo de coagulante (50%).



Tipos de plantas de filtración directa, según el sentido del flujo

- ✓ Filtración directa ascendente
- ✓ Filtración directa descendente
- ✓ Filtración directa ascendente-descendente



Límites de calidad del agua cruda para uso de plantas de filtración directa

ALTERNATIVA	PARÁMETROS	90% DEL TIEMPO	80 % DEL TIEMPO	ESPORÁDICAMENTE
Filtración directa descendente	Turbiedad (UNT)	25 - 30	< 20	< 50
	Color verdadero (UC)	< 25		
	NMP Coliformes Totales/100 mL	< 2.500		
	Concentración de algas (Unidades/mL)	< 200		
Filtración directa ascendente	Turbiedad (UNT)	< 100	< 50	< 200
	Color (UC)	< 60		< 100
Filtración directa ascendente-descendente	Turbiedad (UNT)	< 250	< 150	< 400
	Color (UC)	< 60		< 100

Plantas Convencionales

Convencional clásico

- ✓ Datan de los años 1,910 a 1,920
- ✓ Sistemas mixtos (mecánicos e hidráulicos)
- ✓ Utilizan decantadores convencionales
- ✓ Ocupan gran área de terreno
- ✓ Filtros de altura y nivel constante
- ✓ Retrolavado: Tanque elevado o bombeo directo
- ✓ Se diseñaron de forma empírica razón por la que operan deficientemente.



Plantas Convencionales

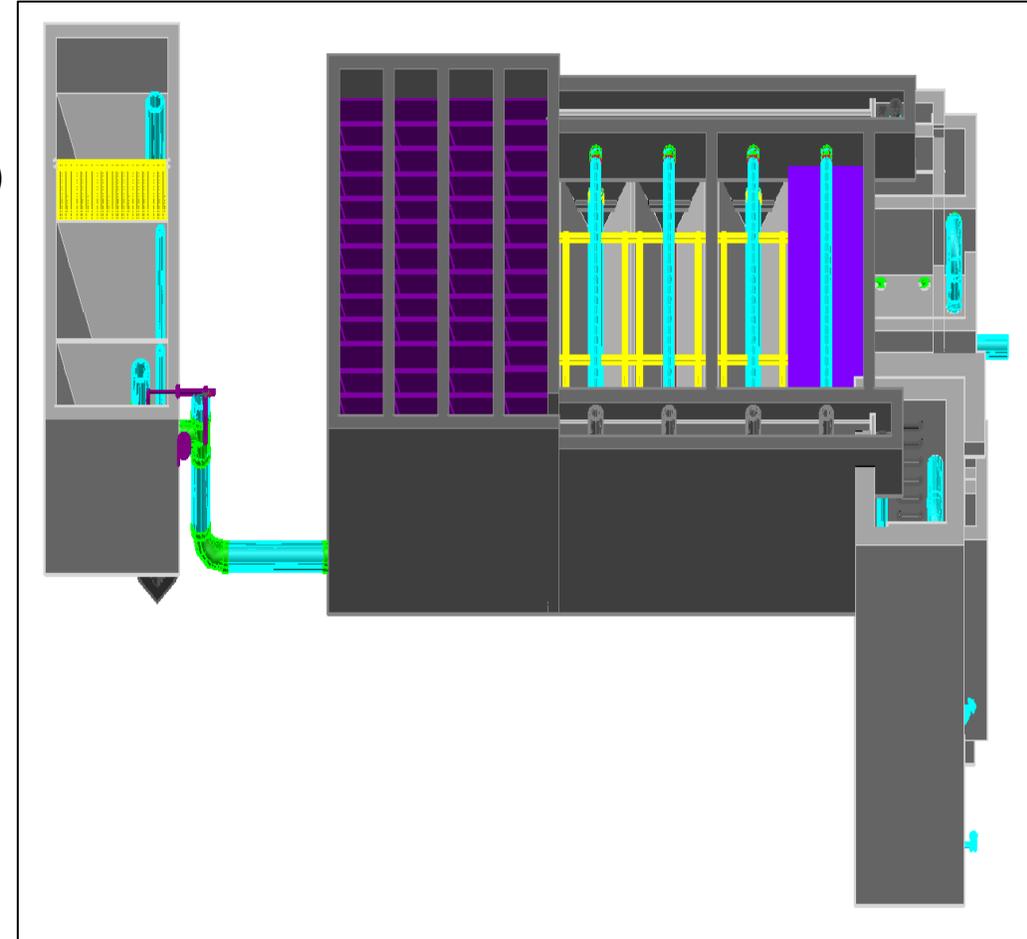
Tecnología apropiada

- ✓ **Inicio de utilización:** datan de la década del 70
- ✓ **Mezclador:** Salto hidráulico
- ✓ **Floculador:** Hidráulico de pantallas o medio poroso
- ✓ **Decantador:** Alta tasa (lamelar)
- ✓ **Filtros:** Tasa declinante, altura variable, lecho mixto y retrolavado por el método de lavado mutuo.



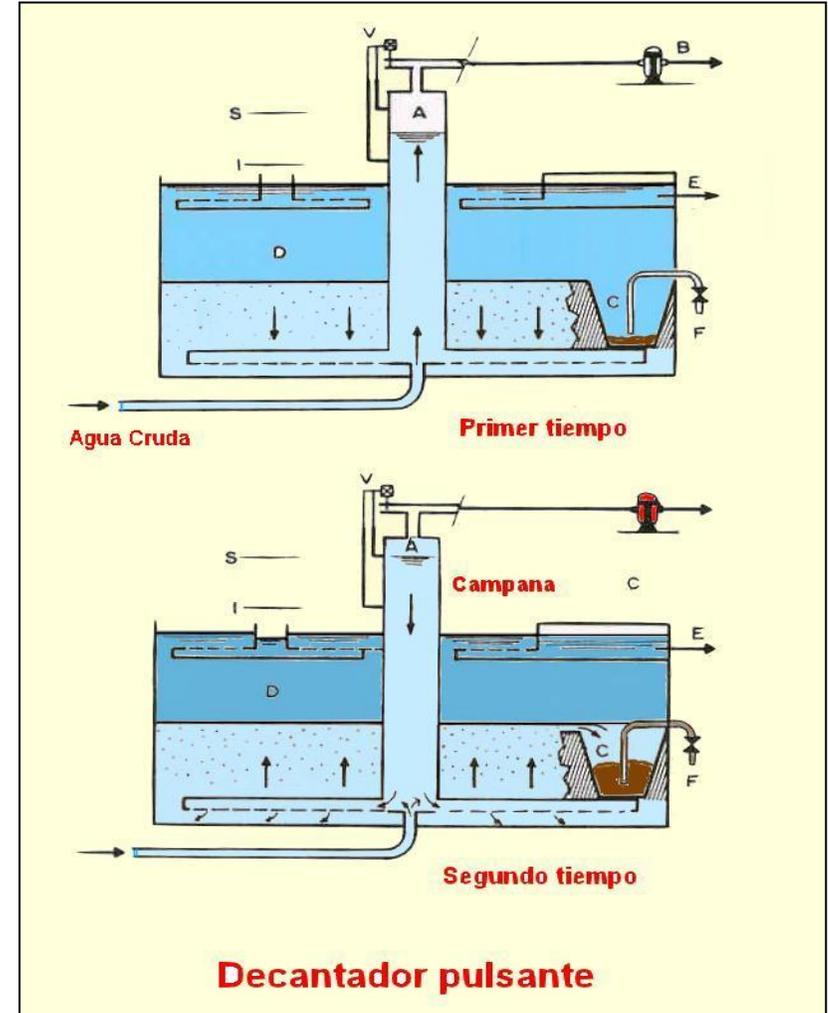
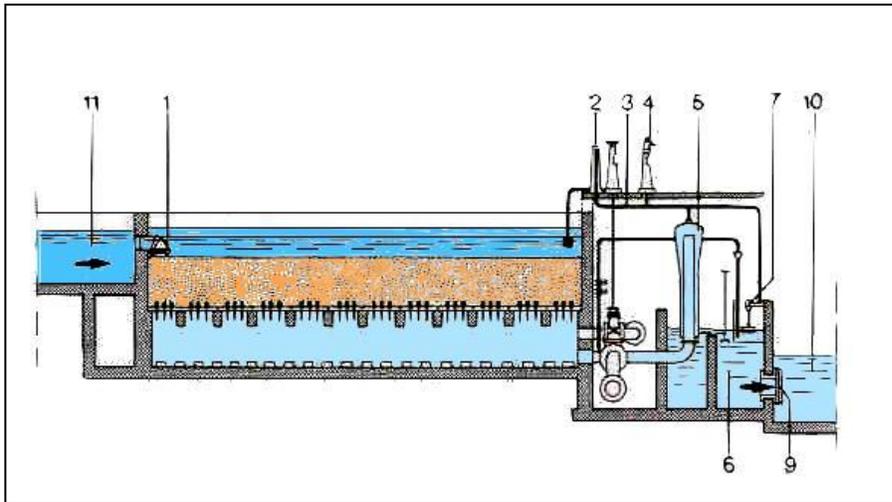
Características predominantes de la tecnología apropiada

- Se diseñan con altas tasas de velocidad
- Emplea el mínimo de equipo posible (funcionamiento hidráulico)
- Son muy confiables
- Son muy flexibles
- Son muy eficientes
- Bajo costo de inversión inicial
- Bajo costo de O & M.
- No requieren de personal altamente calificado para la O & M.



Características predominantes de las plantas patentadas

- Se diseñan con altas tasas de velocidad
- Utiliza gran cantidad de equipo
- Poco flexibles y muy vulnerables
- Totalmente dependientes de la energía eléctrica
- Requiere de operación calificada
- Requiere buen programa mantenimiento preventivo
- Tienen alto costo de inversión inicial y también de operación y mantenimiento.

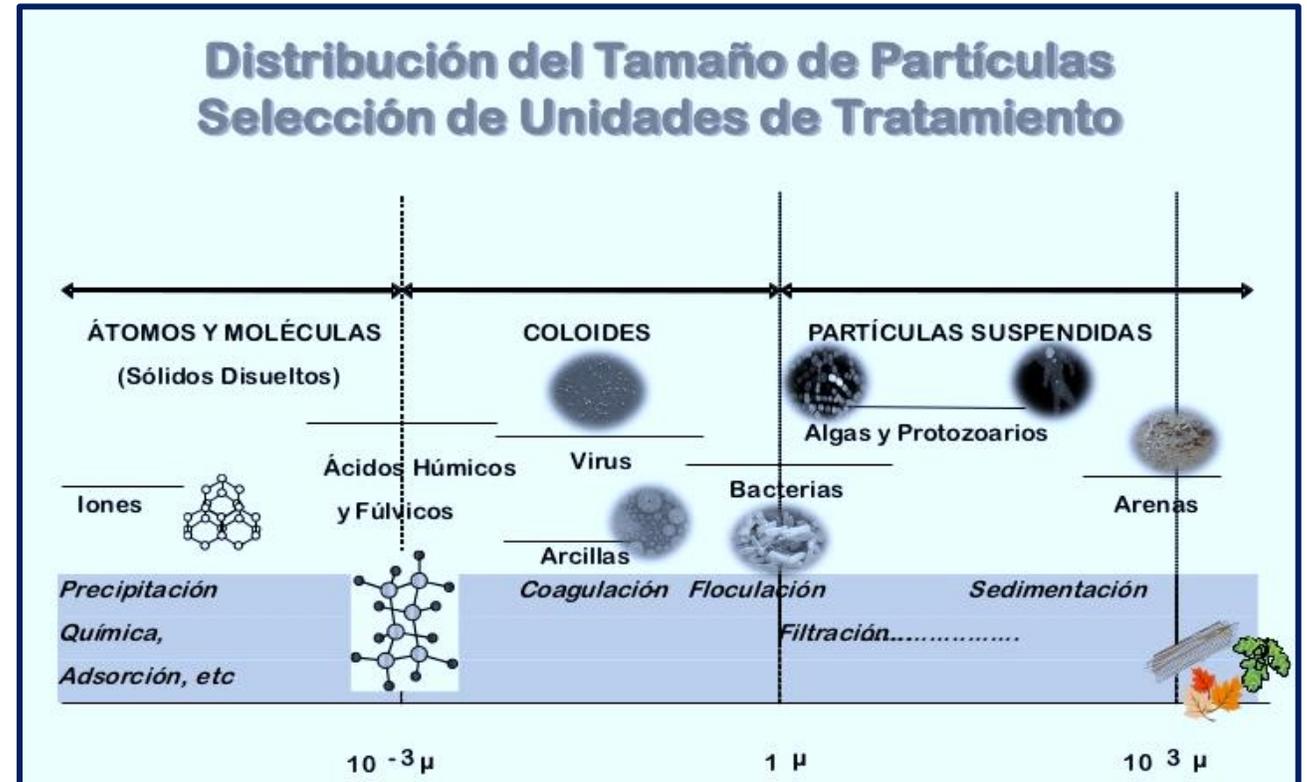


Tamaño de las partículas

Se conoce que los tamaños de **partículas superiores a 0,1 mm (100 micrones)** pueden ser separadas **del agua por sedimentación libre**. En cambio las de tamaño inferior, quedan suspendidas en el líquido por mucho tiempo, llegando en el caso de los **coloides de tamaño inferior a 1 micrón** a quedar indefinidamente en suspensión. Por ende, **es necesario aglutinarlas** para que al aumentar su tamaño tengan un peso mayor que el agua y puedan sedimentar.

Pero el problema es que esas **suspensiones coloidales por lo general tienen carga negativa** que tiende a la repulsión entre ellas. Se requiere pues, **desestabilizar esas cargas** negativas con algún producto de cargas positivas (catiónicas), de modo que las partículas puedan aglomerarse.

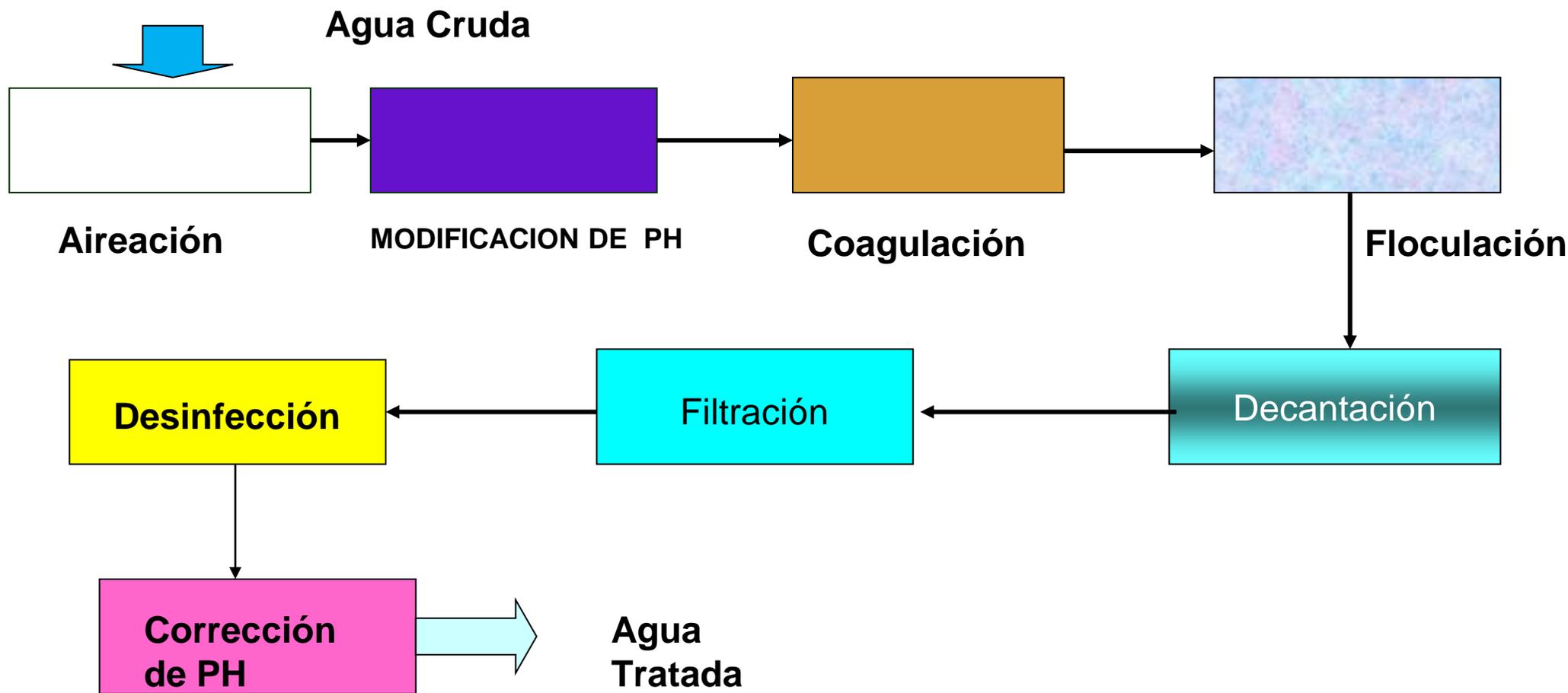
Al compuesto que desestabiliza una suspensión coloidal y provoca la formación de un floc, se le denomina coagulante.



Que es una Planta de Filtración Rápida (PFR)

Una PFR **es una secuencia de operaciones unitarias** seleccionadas de acuerdo a la calidad del agua cruda, para su potabilización.

Operación Unitaria es un proceso Químico, Físico o Biológico mediante el cual las sustancias objetables contenidas en el agua son removidas o transformadas en sustancias inocuas.



Transferencia de gases, Aireación

El objetivo

Es la remoción del exceso de gases disueltos en el agua y de sustancias volátiles (CO_2 en valores elevados, H_2S , sustancias aromáticas volátiles y exceso de cloro), así como también incorporar Oxígeno al agua para oxidar los compuestos ferrosos o manganesos y aumentar el Oxígeno y Nitrógeno.

Clasificación

- ❖ Los que forman gotas, como los aspersores, bandejas con lechos de grava
- ❖ Los que forman pequeñas láminas de agua, como los aireadores de caída por gravedad, tipo canasto o cascada
- ❖ Los que inyectan pequeñas burbujas de aire, como los difusores y aireadores de turbinas

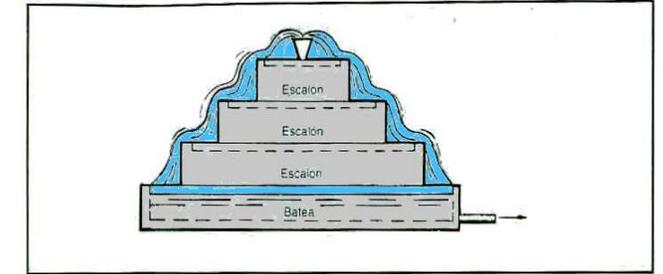
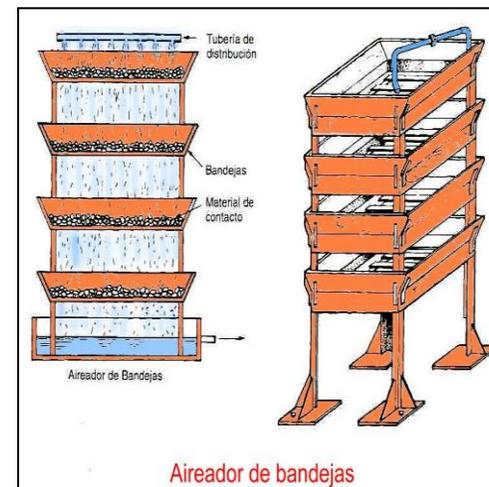
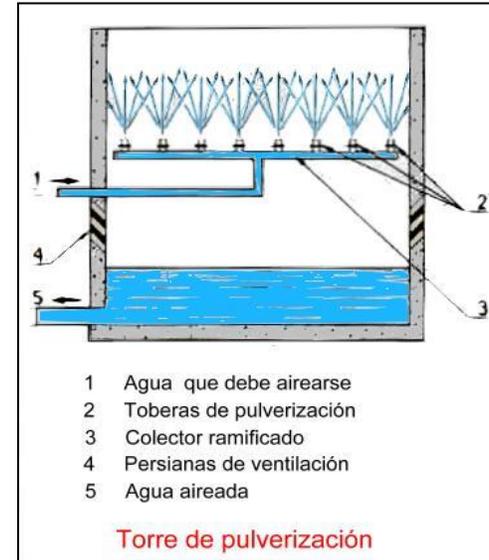


Figura 2.7 Aireador de cascadas.

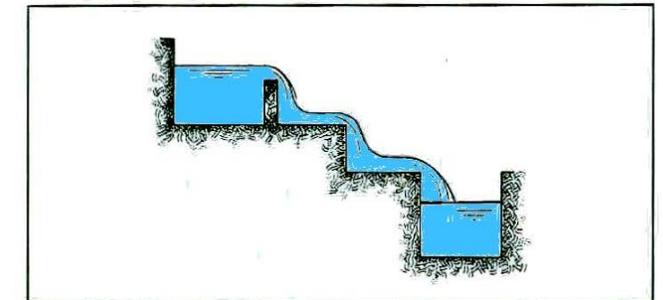


Figura 2.8 Aireador de cascadas.

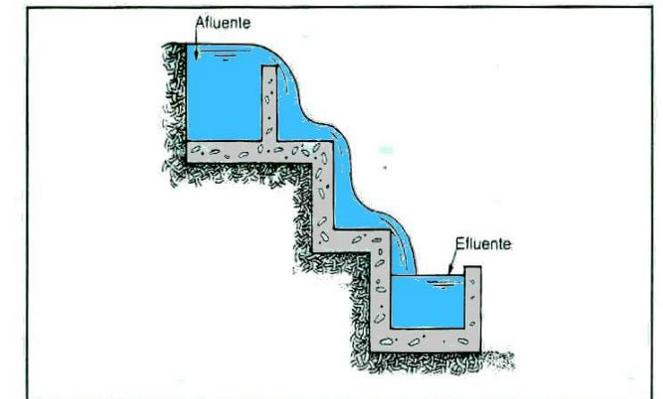


Figura 2.9 Aireador de cascadas tipo escalera.

Razones para efectuar la Aeración

1) *Remoción de gases disueltos:*

- a) Gas carbónico presente en el agua en forma natural;
- b) gas sulfhídrico proveniente de la putrefacción o fermentación de los depósitos orgánicos putrescibles o fermentables del fondo de los reservorios;
- c) cloro en exceso (proveniente de la supercloración).

2) *Introducción del oxígeno del aire en el agua:*

- a) Para oxidar el fierro y el manganeso, cuya remoción se realiza mediante la decantación y filtración (de esta manera también se reduce el sabor debido al hierro y al manganeso);
- b) para añadir oxígeno en el agua hervida o destilada.

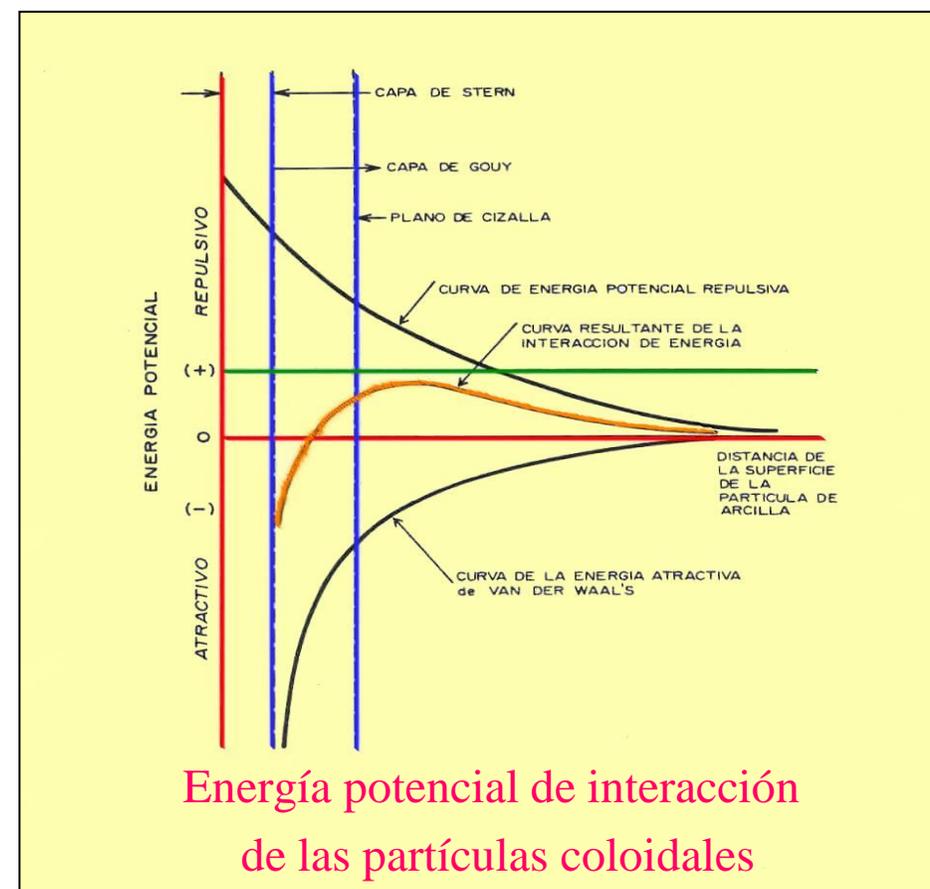
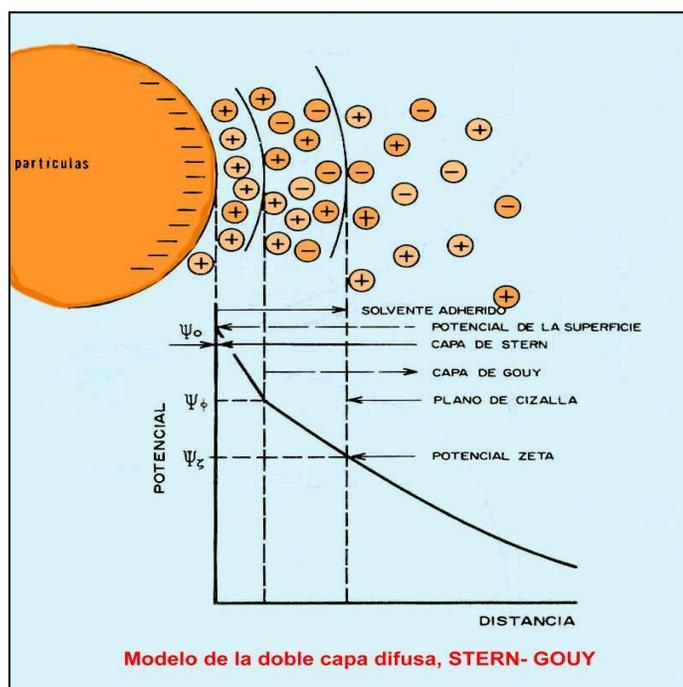
3) *Remoción de sustancias causantes de sabores y olores:*

- a) Sustancias oleaginosas provenientes de algas y otros organismos (cuando son volátiles);
- b) gas sulfhídrico;
- c) sabores debidos al hierro y al manganeso;
- d) descomposición de la materia orgánica (quema).

Coagulación

Es el proceso a través del cual los productos químicos (cal, sulfato de aluminio, polímero) coagulantes son añadidos al agua, para la **desestabilización de las partículas coloidales**, eliminando las fuerzas que las mantienen en suspensión mediante la neutralización de las cargas superficiales que tienden a mantenerlas separadas. Con ello **las partículas tienden a la aglomeración** y a la formación de elementos de mayor peso que el agua, facilitando su posterior decantación.

- Es el proceso inicial en una planta potabilizadora, y
- Se realiza en un reactor de mezcla rápida.



Teoría básica de la coagulación

Las impurezas que contiene el agua pueden estar en los siguientes estados:

- ✓ **en suspensión;**
 - **suspensiones concentradas:** en particular vegetales, restos de hojas, vegetales (macroscópicos), sílice, etcétera, que pueden flotar o sedimentarse fácilmente cuando el agua está en reposo;
 - **suspensiones finas:** turbidez, bacterias, plancton, etcétera;
- ✓ **disueltas;**
- ✓ **coloidales:** dureza, en parte (sales de calcio y magnesio); fierro y manganeso no oxidados, etcétera.

Las sustancias que más nos interesan en el proceso de la coagulación son la **turbiedad y el color en forma de partículas muy pequeñas o coloides**, material que no puede ser eliminado mediante un proceso de sedimentación.

Diámetro de la partícula mm	Escala de tamaños	Area superficial total*	Tiempo requerido para sedimentar**
10	Grava	3.15 cm ²	0.3 s
1	Arena gruesa	31.5 cm ²	3 s
0.1	Arena fina	315 cm ²	38 s
0.01	Sedimento	3150 cm ²	33 min
0.001	Bacteria	3.15 m ²	55 horas
0.0001	Partícula coloidal	31.5 m ²	230 días
0.00001	Partícula coloidal	0.283 ha	6.3 años
0.000001	Partícula coloidal	2.83 ha	63 años

* Area de partículas del tamaño indicado, producida a partir de una partícula de 100 mm de diámetro y gravedad específica de 2.65.

** Cálculos basados en esferas con gravedad específica de 2.65 que sedimentan 30 cm.

Sustancias químicas empleadas en la coagulación

- Coagulantes
- Alcalinizantes (Modificadores de pH)
- Coadyuvantes de coagulación

Coagulantes

Las principales sustancias con propiedades coagulantes utilizadas en el tratamiento de las aguas son:

- ✿ El Sulfato de Aluminio, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
- ✿ Policloruro de Aluminio, $Al(OH)_{1,2}(Cl)_{1,8}$
- ✿ Cloruro férrico, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$
- ✿ Sulfato ferroso, $FeSO_4$
- ✿ Sulfato férrico, $Fe_2(SO_4)_3$
- ✿ El cloro sulfato férrico, $Fe_2 Cl_2 (SO_4)_2$

Modificadores de pH

- ❖ Oxido de calcio o cal viva, CaO
- ❖ Hidróxido de calcio, Ca(OH)_2
- ❖ Carbonato de sodio, $\text{Na}_2(\text{CO}_3)$
- ❖ Hidróxido de Sodio, Na(OH)
- ❖ Gas carbónico, CO_2
- ❖ Ácido sulfúrico, H_2SO_4
- ❖ Ácido clorhídrico, HCl



Ayudantes de coagulación

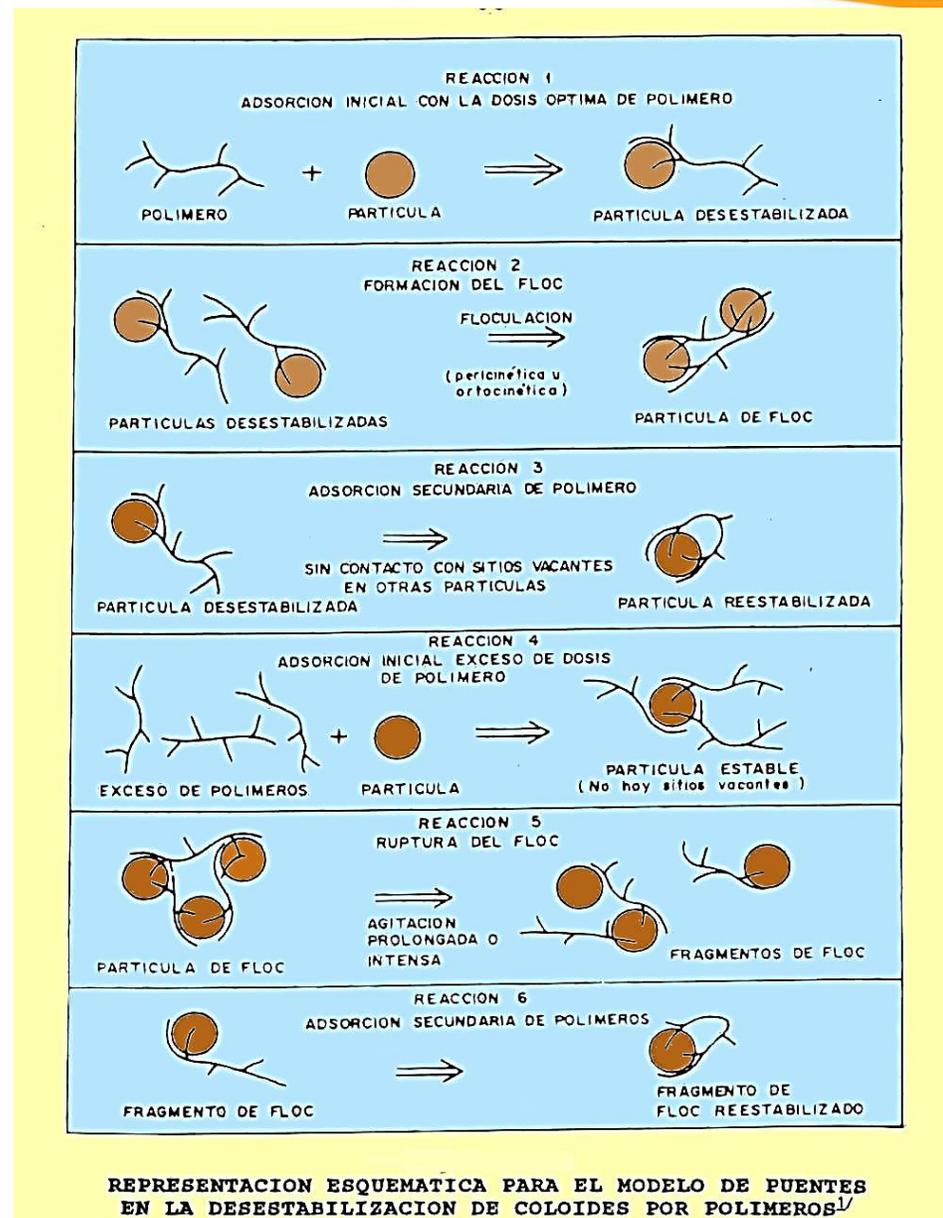
Los polímeros son **sustancias de un alto peso molecular**, de origen ya sea natural o sintético.

Se utilizan en forma **sólida (polvo) o líquida**, clasificándose en polímeros:

- **Aniónicos**,
- **Catiónicos** (de polaridad muy variable)
- **No iónicos** o neutros.

Los sólidos son generalmente no iónicos o aniónicos. Los líquidos son generalmente soluciones catiónicas.

Según su tipo los polielectrólitos **pueden usarse como coagulantes primarios o como ayudantes de coagulación**. Como coagulantes primarios, la concentración empleada generalmente es entre **1-5 mg/l**, mientras que como ayudantes de coagulación la concentración empleada es generalmente entre **0.1-2 mg/l**.



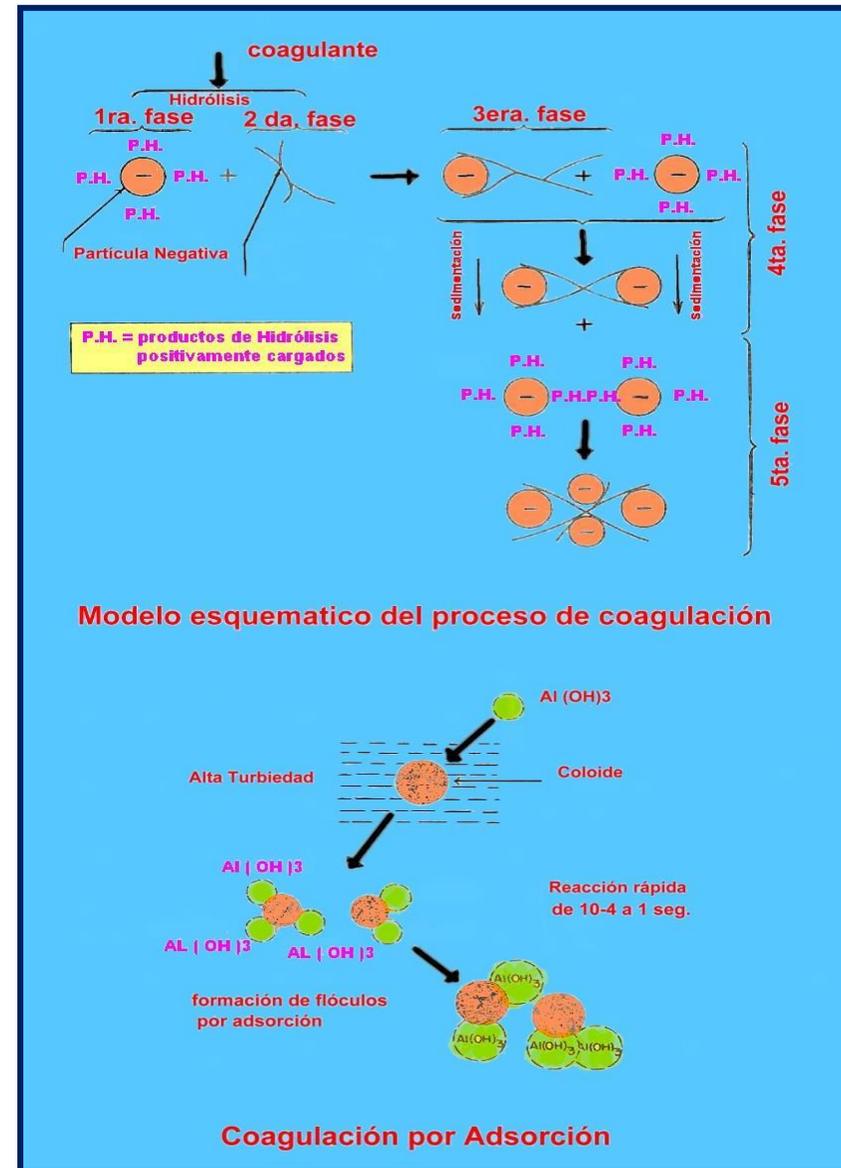
Tipos de Coagulación

Coagulación por Adsorción

Este tipo de coagulación se presenta cuando existe en el agua una alta concentración de partículas en estado coloidal, con alta concentración de Coloides, las especies hidrolíticas solubles son adsorbidas por los Coloides formándose los flóculo en forma casi instantánea, en un tiempo de 10^{-4} a 1 segundo.

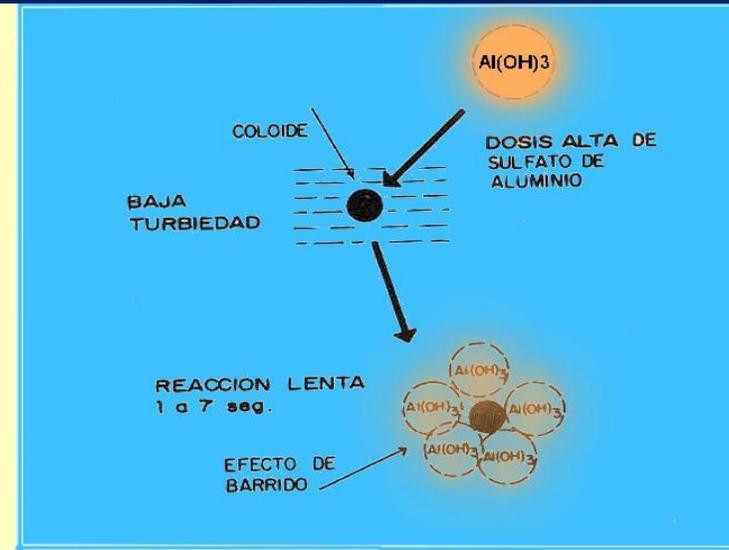
Cinética o etapas de la Coagulación

1. Hidrólisis
2. Adsorción
3. Aglomeración
4. Formación de flóculos
5. Precipitación del hidróxido

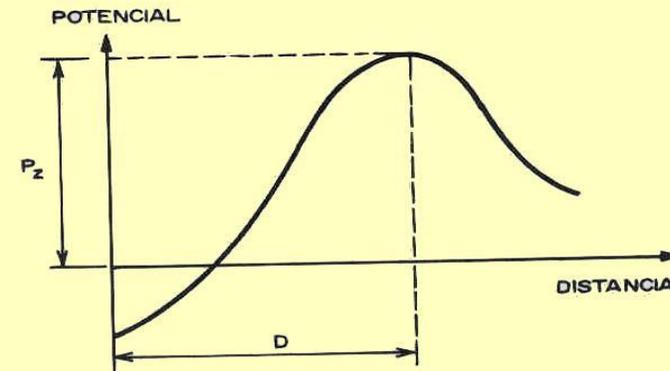


Coagulación por barrido

Este tipo de coagulación se presenta **cuando el agua es clara y el porcentaje de partículas coloidales es pequeño**. En este caso las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación **de precipitado de hidróxido de aluminio**. Tiempo de reacción **1 a 7 s**



coagulación por Barrido



Potencial Zeta en coagulación por Barrido

Factores que influyen en el proceso de coagulación

Los factores que mayor influencia ejercen en el desarrollo del proceso son principalmente: La naturaleza del agua cruda, y algunas variables físicas y químicas.

Características del agua cruda que más influyen:

- ✦ Tipo de coagulante
- ✦ Concentración de coloides , Turbiedad y color
- ✦ Alcalinidad
- ✦ pH
- ✦ Tamaño de las partículas
- ✦ La temperatura

Concentración de coloides:

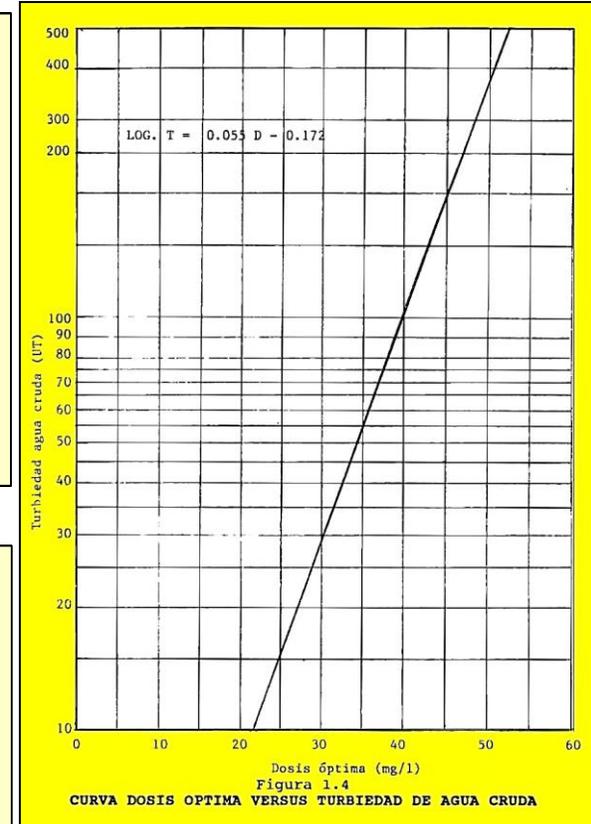
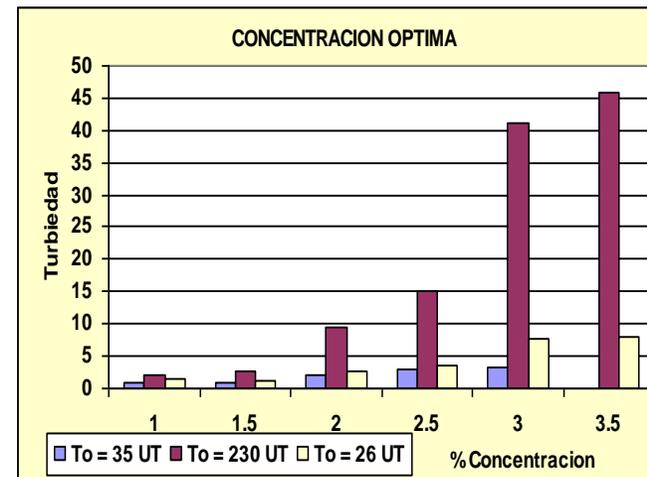
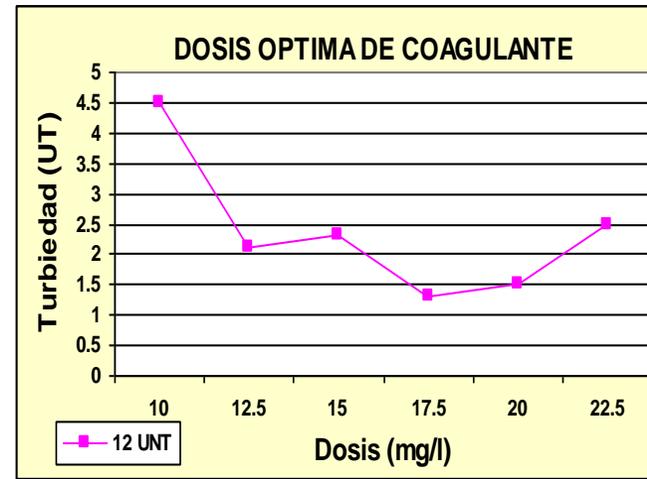
- ❖ Alta concentración de coloides – baja alcalinidad, sistema fácil
- ❖ Alta concentración de coloides – alta alcalinidad, sistema más fácil
- ❖ Baja concentración de coloides -- alta alcalinidad,
- ❖ Baja concentración de coloides – baja alcalinidad, coagulación más difícil

ALTA CONCENTRACIÓN DE COLOIDES – BAJA ALCALINIDAD	ADSORCIÓN DE POLIMEROS METÁLICOS POSITIVOS EN LA SUPERFICIE DE LOS COLOIDES (Ph 4 a 7)	DOSIS DE COAGULANTE SE INCREMENTA CON CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS. ADICIÓN DE ALCALINIDAD EN ALGUNOS CASOS
ALTA CONCENTRACIÓN DE COLIDES – ALTA ALCALINIDAD	ADSORCIÓN DE POLÍMEROS METÁLICOS POSITIVOS Y PRECIPITACIÓN DE HIDRÓXIDOS (pH >7)	DOSIS DE COAGULANTE SE INCREMENTA CON LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS
BAJA CONCENTRACIÓN DE COLOIDE – ALTA ALCALINIDAD	FORMACIÓN DE PRECIPITADO. FLOC DE BARRIDO.	ALTA DOSIS DE COAGULANTE. ADICIÓN DE PARTICULAS
BAJA CONCENTRACIÓN DE COLOIDES – BAJA ALCALINIDAD	FORMACIÓN DE PRECIPITADO. FLOC DE BARRIDO	ALTA DOSIS DE COAGULANTE. ADICIÓN DE ALCALINIDAD O PARTÍCULAS, O AMBOS

Parámetros de dosificación

El estudio de laboratorio comprende lo siguiente :

- Selección del coagulante
- Dosis óptima de coagulante
- pH óptimo
- Dosis de modificador de pH
- Concentración óptima de coagulante
- Selección del ayudante de coagulación
- Dosis del ayudante de coagulación

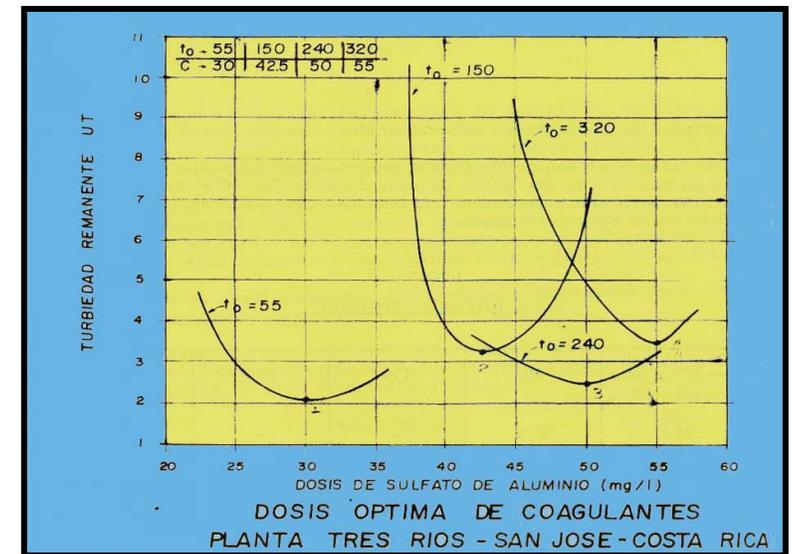
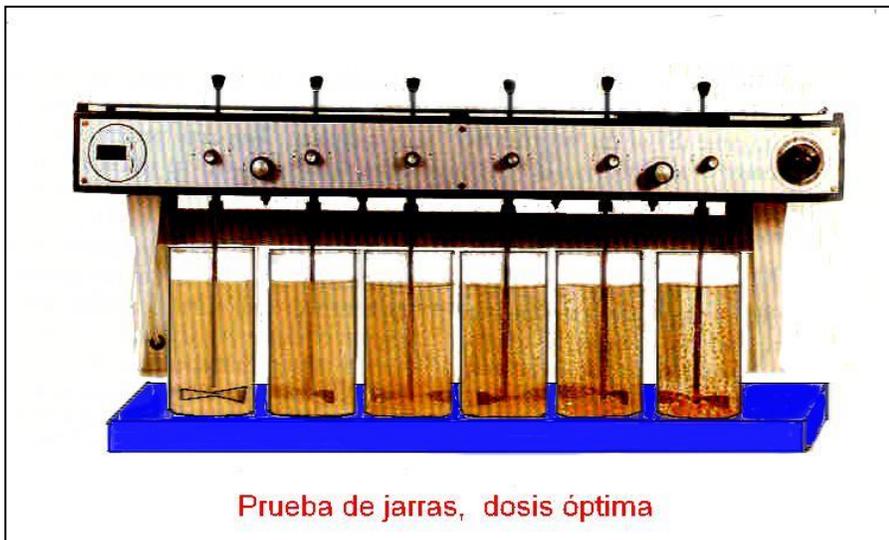


Variables Químicas

- 1 Dosis Optima
- 2 pH Optimo
- 3 Concentración óptima

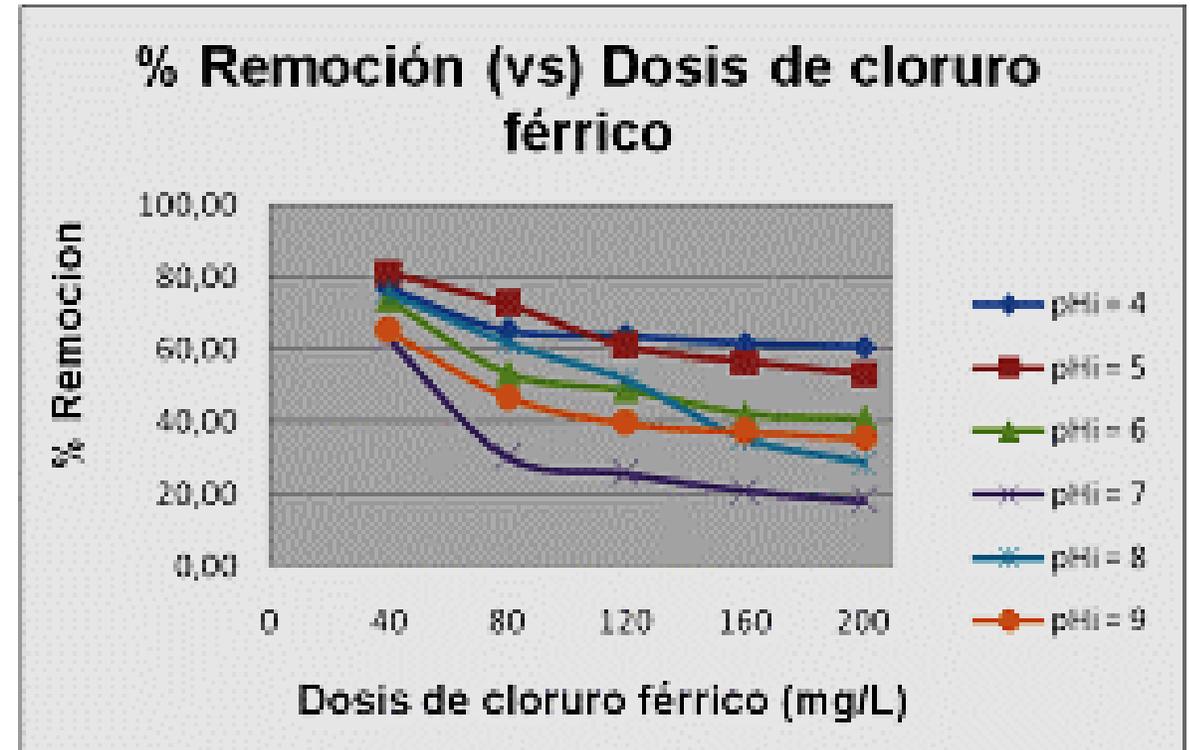
Dosis Optima de Coagulante

Depende del mecanismo de desestabilización. Con baja turbiedad se necesita un floc de hidróxido voluminoso.



pH óptimo

El pH *es un parámetro muy importante en la coagulación*, en general para aguas con color, el pH óptimo se encuentra entre **4.0** y **6.0**, para aguas con turbiedad entre **6.5** y **8.5**. Con relación al Sulfato de Aluminio las sales férricas son efectivas en un rango más amplio



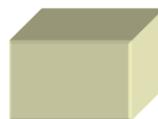
Concentración Óptima

Aplicar de un modo uniforme el Sulfato de Aluminio al agua es la principal dificultad para la realización de una coagulación eficiente.

La dispersión será más efectiva cuanto mayor sea el volumen de solución o más diluida sea ésta, resultando en una mejor remoción de la turbidez cuando el coagulante entra más rápido y más fácilmente en contacto con el mayor número de partículas coloidales.

30 mg/l

al 10%



7 cm³



1.0 m³

Soluciones muy diluidas de Sulfato de Aluminio pueden hidrolizarse antes de su aplicación, formando productos que no son tan efectivos en la coagulación.

Valores del orden de **1** a **2%**, son los recomendados.

Dosificación de sustancias químicas

Se efectúa mediante dispositivos capaces de liberar cantidades prefijadas de productos químicos en una unidad de tiempo.

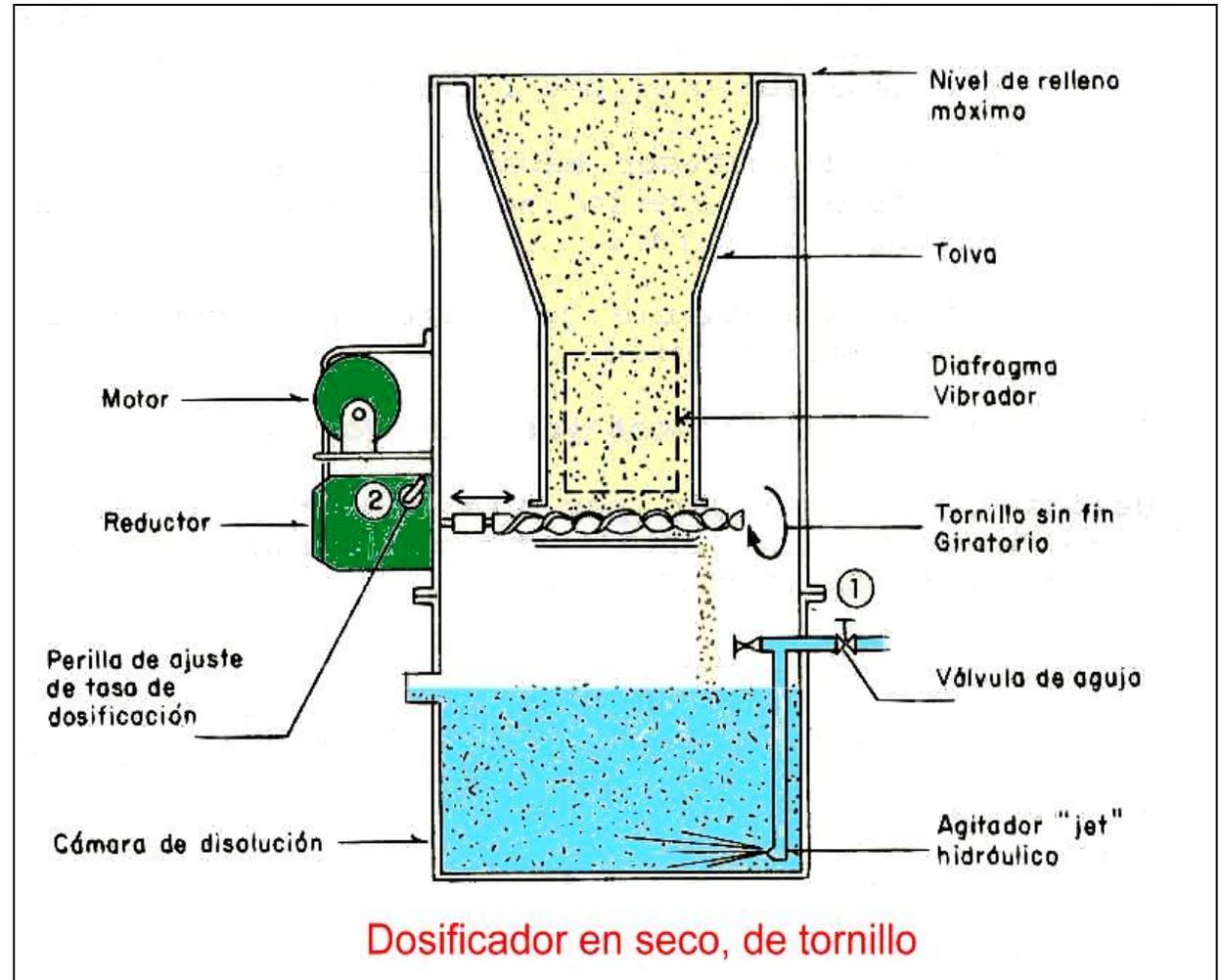
Clasificación de los dosificadores de sustancias químicas		
Seco	Volumétricos	Plato Garganta Tornillo Estrella Correa o banda
	Gravimétricos	Correa transportadora Pérdida de peso
Solución	Gravedad	Orificio de carga constante o regulable Torres de saturación
	Bombeo	Desplazamiento rotativo Desplazamiento positivo
	Boquillas	
Gas	Solución al vacío	
	Aplicación directa	

Dosificador volumétrico en seco

Para utilizar el sulfato en el dosificador por vía seca, este **debe tener tal granulometría** que no menos del **90%** pase por una malla de **10** orificios por pulgada y **100%** por una malla de **4** orificios por pulgada.

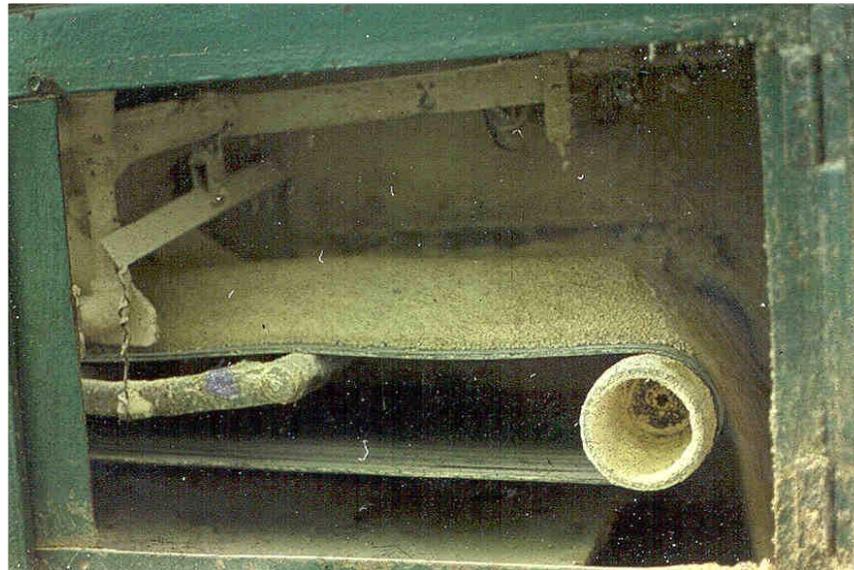
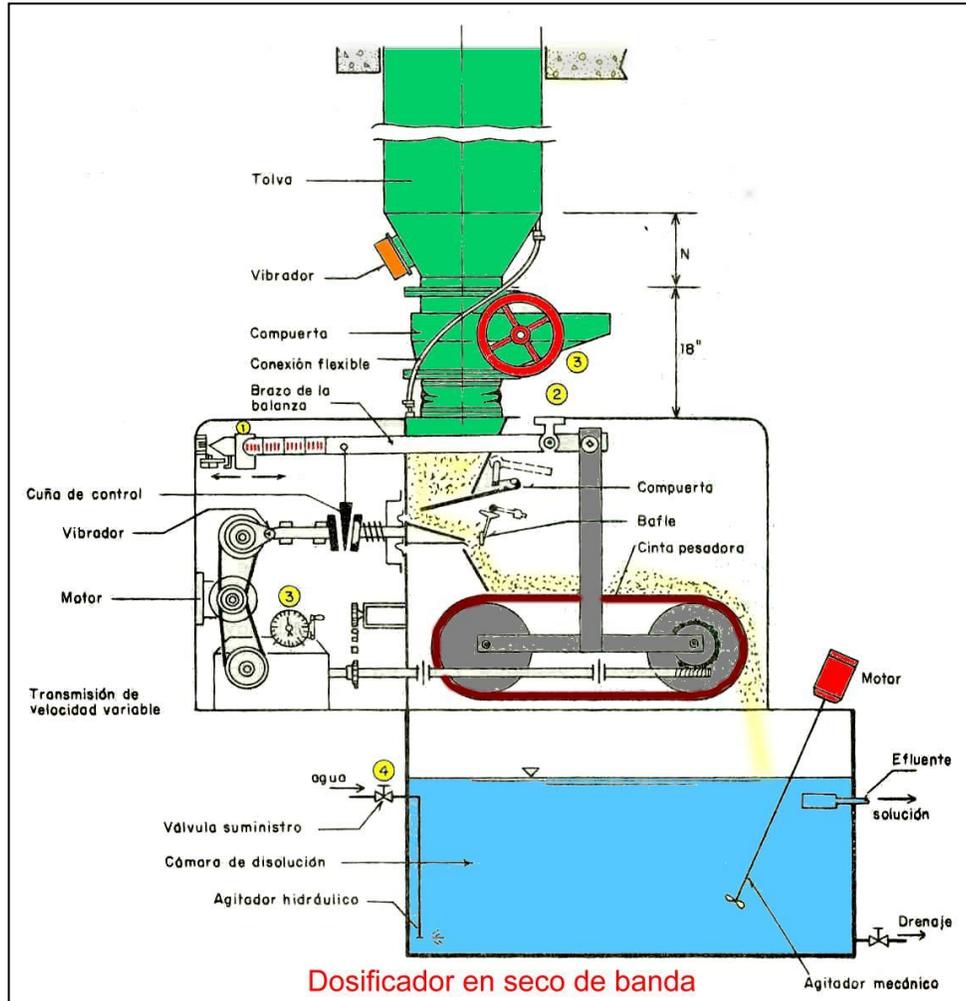
No deberá contener mucho polvo para que el arco formado por la compactación del polvo en las paredes no interrumpa la dosificación.

Para la disolución del sulfato, posterior al dosificador, el volumen de agua debe ser por lo menos equivalente a la preparación de una solución al **1%** del producto dosificado.

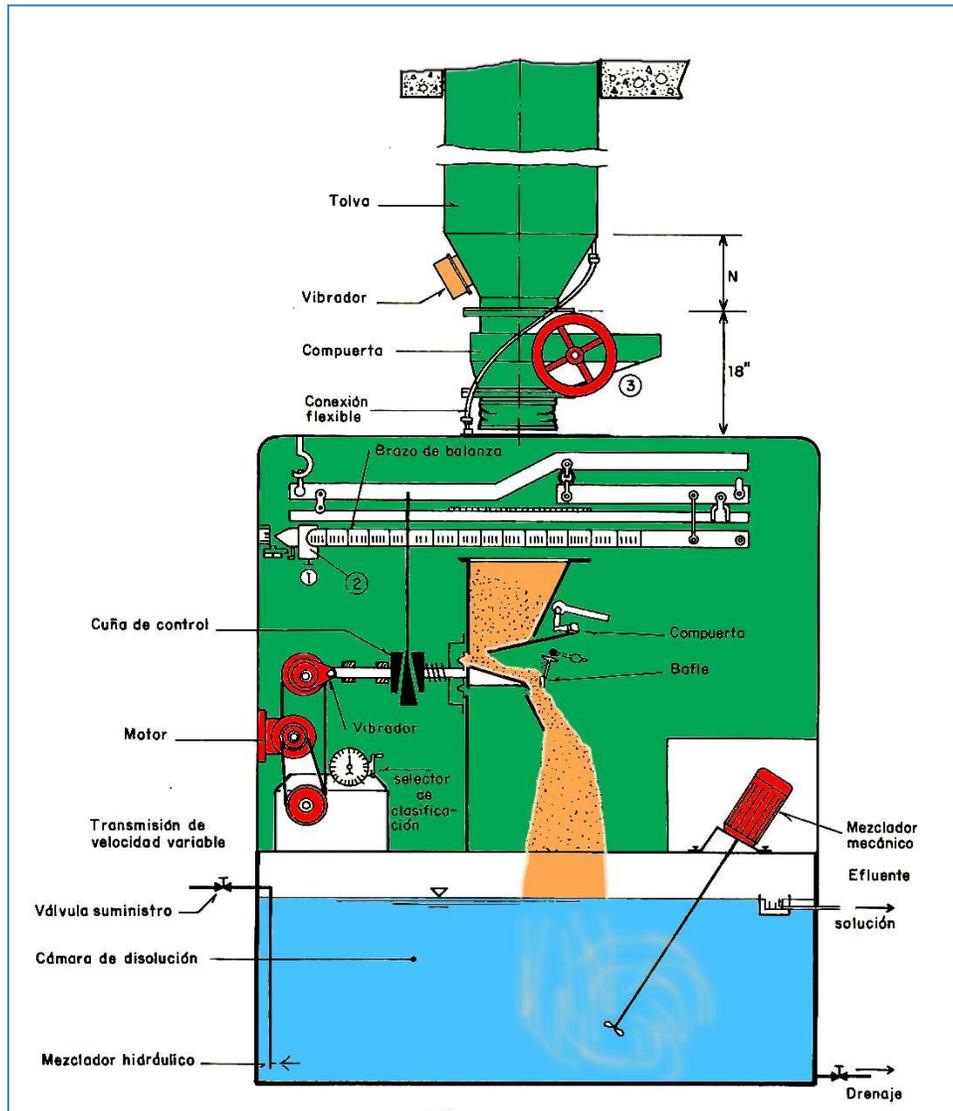


DOSIFICADOR VOLUMÉTRICO TIPO TORNILLO GIRATORIO

Dosificador en Seco de Banda



Dosificador en seco gravimétrico tipo pérdida de peso



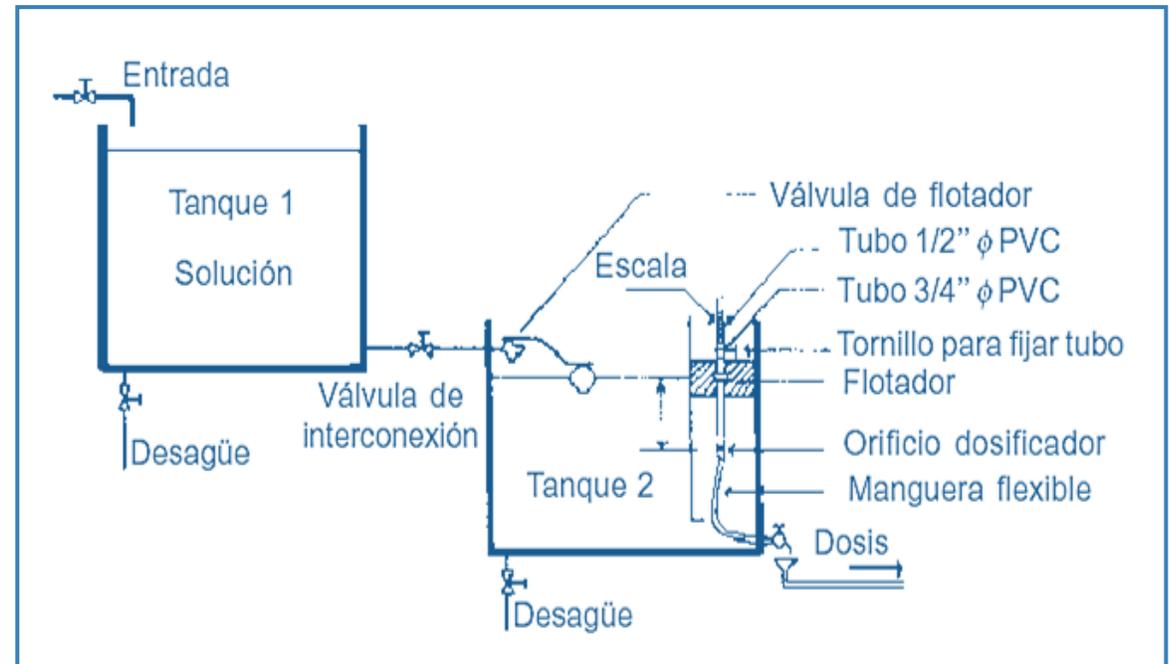
Desventaja de los dosificadores en seco

- ✓ No son recomendables para caudales muy pequeños ($Q < 20$ l/s)
- ✓ Requieren calibración frecuente
- ✓ Son susceptibles a los cambios granulométricos (provocados por la humedad)
- ✓ Para Cal, el uso de vibradores es esencial.
- ✓ Costo elevado
- ✓ Cuidadosa operación y mantenimiento

Dosificadores por gravedad

Se emplean especialmente en plantas pequeñas y medianas.

Clasificación {
Carga constante
Carga regulable



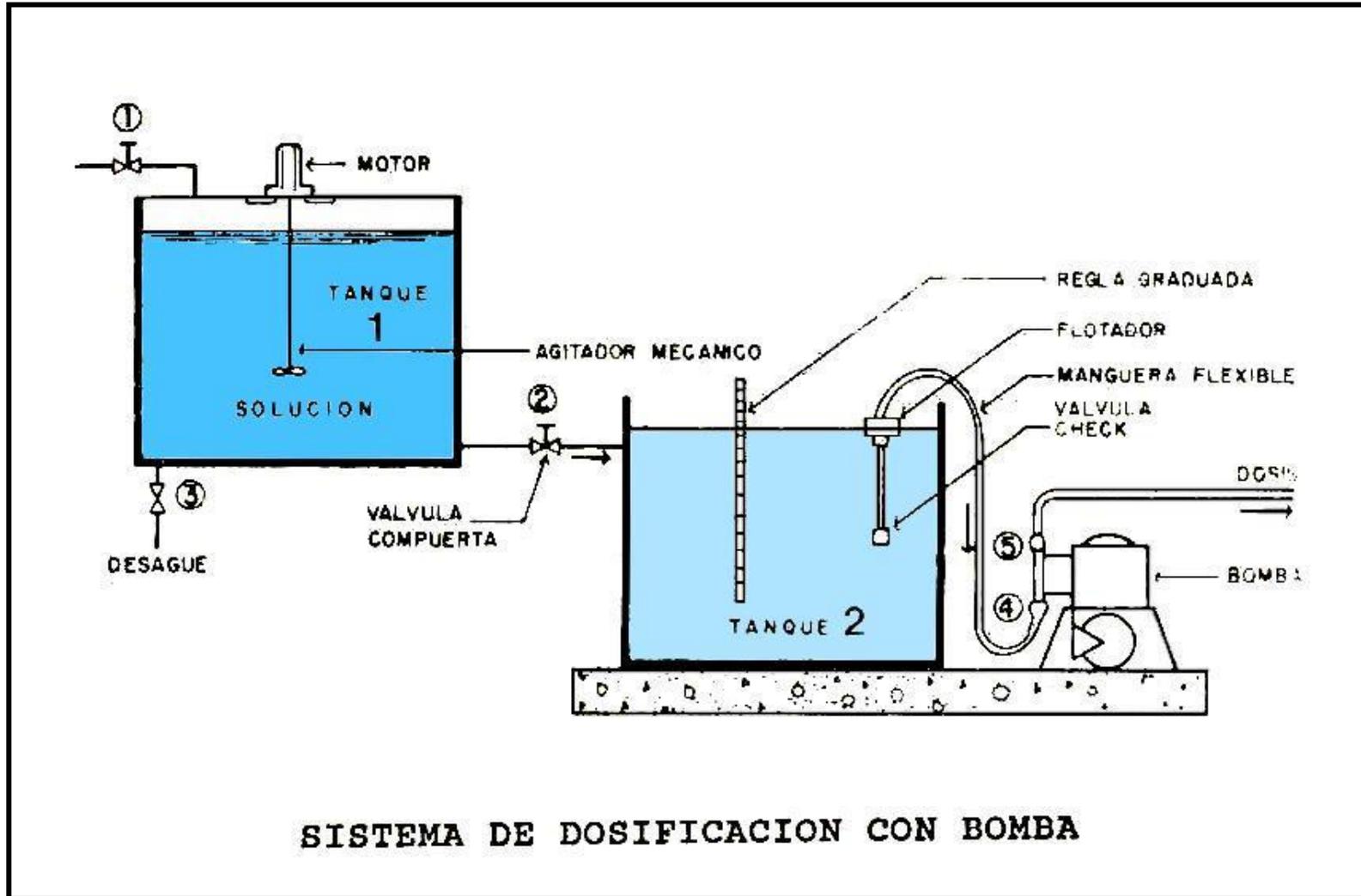
Dosificadores

Son dispositivos capaces de liberar cantidades prefijadas de productos químicos en una unidad de tiempo. Para realizar un control adecuado del proceso de coagulación en una planta de tratamiento de agua se requiere obtener los siguientes datos:

1. Agua Cruda: caudal, turbiedad, color, pH, alcalinidad, temperatura;
2. De coagulantes, modificadores de pH y ayudantes de coagulación se requiere: Dosis y Concentración óptimas.



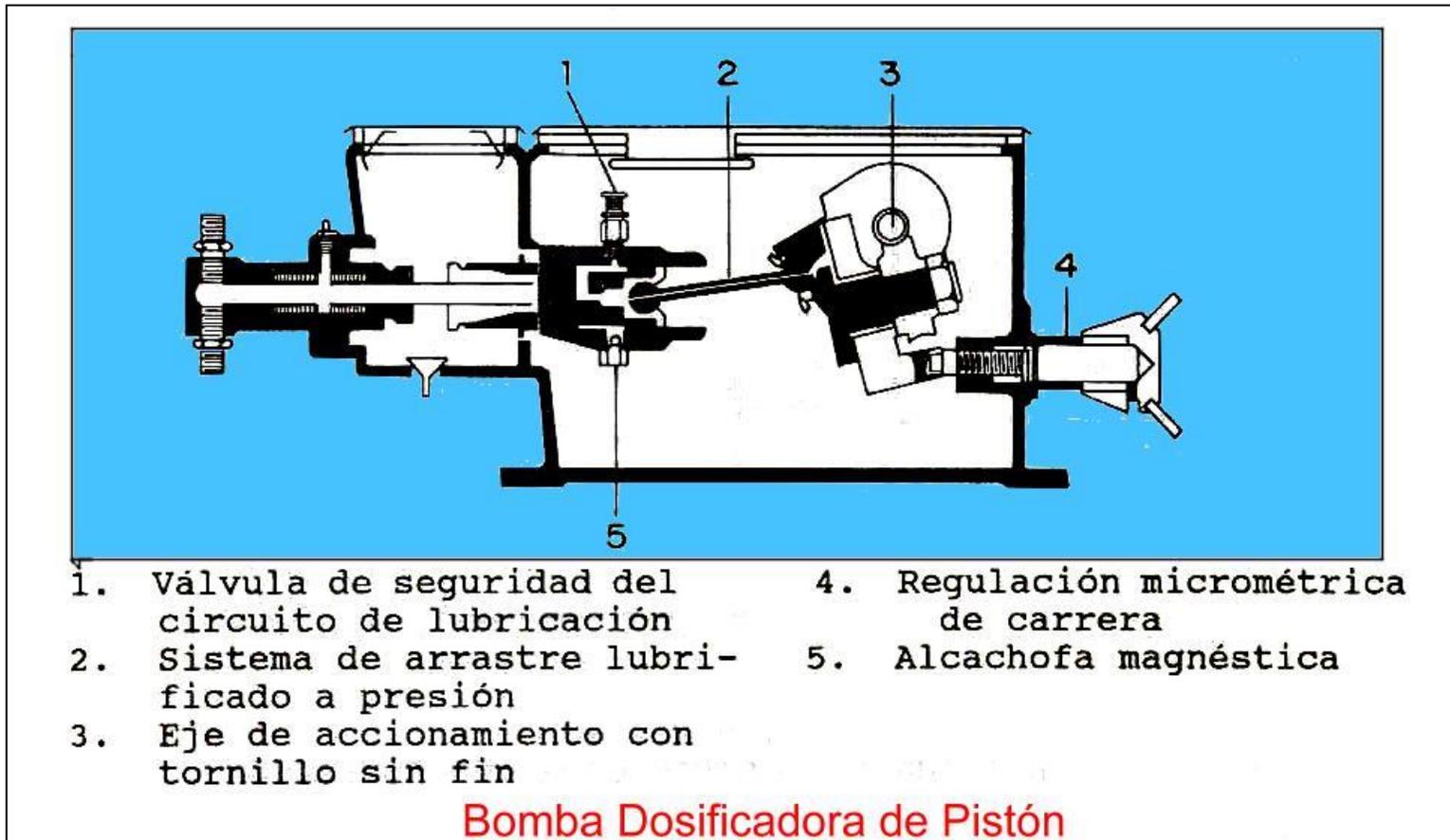
Dosificación por Bombeo



Bomba Dosificadora de Pistón

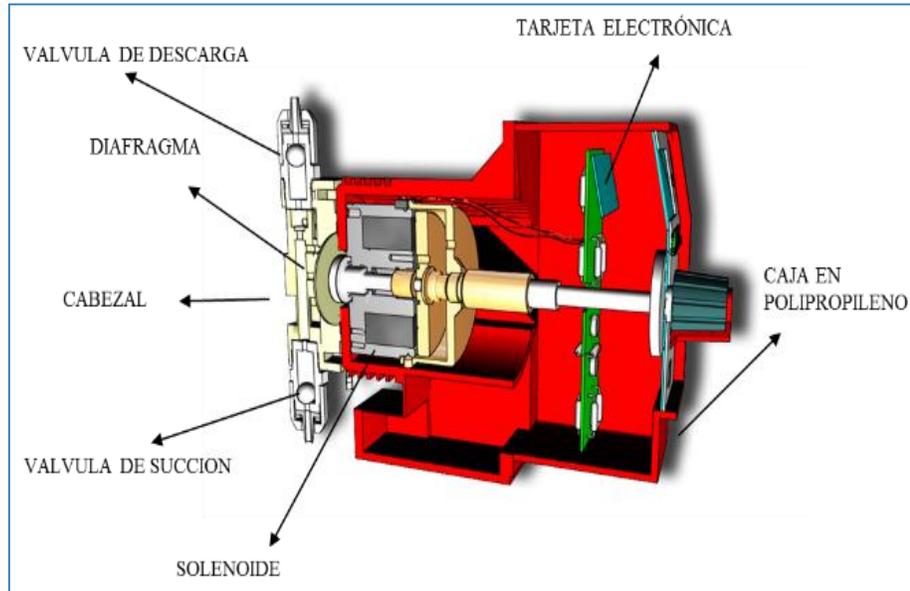
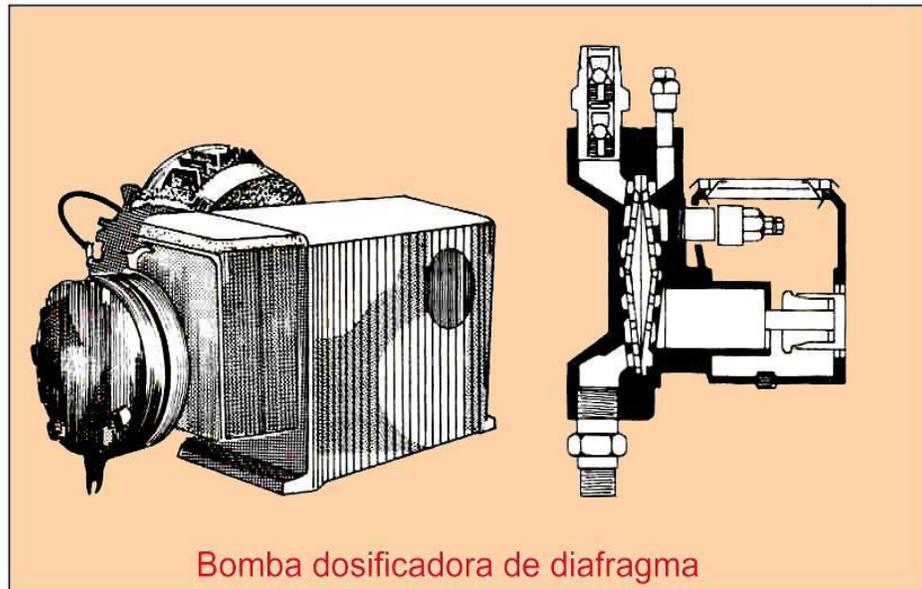
Es más precisa, pero debe emplearse con precaución en caso de productos abrasivos o muy corrosivos (silicato sódico, cloruro férrico)

El caudal puede variar de varias decenas de mililitros a algunos miles de l/h



Bomba Dosificadora de Diafragma

- Su precisión es ligeramente inferior a la de pistón
- Se utiliza para líquidos corrosivos, tóxicos, abrasivos, cargados o viscosos.
- El caudal puede llegar hasta **2,500** l/h y a fuertes presiones



Mezcla Rápida

La mezcla rápida es el aspecto físico de la coagulación. Tiene como objetivo mezclar en forma homogénea e instantánea el coagulante con la masa de agua, con el fin de desestabilizar las partículas coloidales.

Parámetros Operacionales

Los parámetros operacionales de la mezcla rápida son:

- **la intensidad de agitación** que se debe impartir al agua para dispersar al coagulante, el cual se evalúa mediante el gradiente de velocidad (G, s^{-1}), y
- **el tiempo (T, s)** durante el cual debe aplicarse esta agitación al agua.

La magnitud de estos parámetros dependerá del tipo de coagulación que se va a llevar a cabo: **coagulación por adsorción, o coagulación por barrido.**

En la coagulación por adsorción las reacciones que preceden a la neutralización de la carga son extremadamente muy rápidas y **ocurren en milésimas de segundo cuando no hay formación de polímeros hidrolíticos de AL(111)** y en **1** segundo cuando estos se forman.

Para la coagulación por barrido la formación del hidróxido se produce en un rango de **1** a **7** segundos

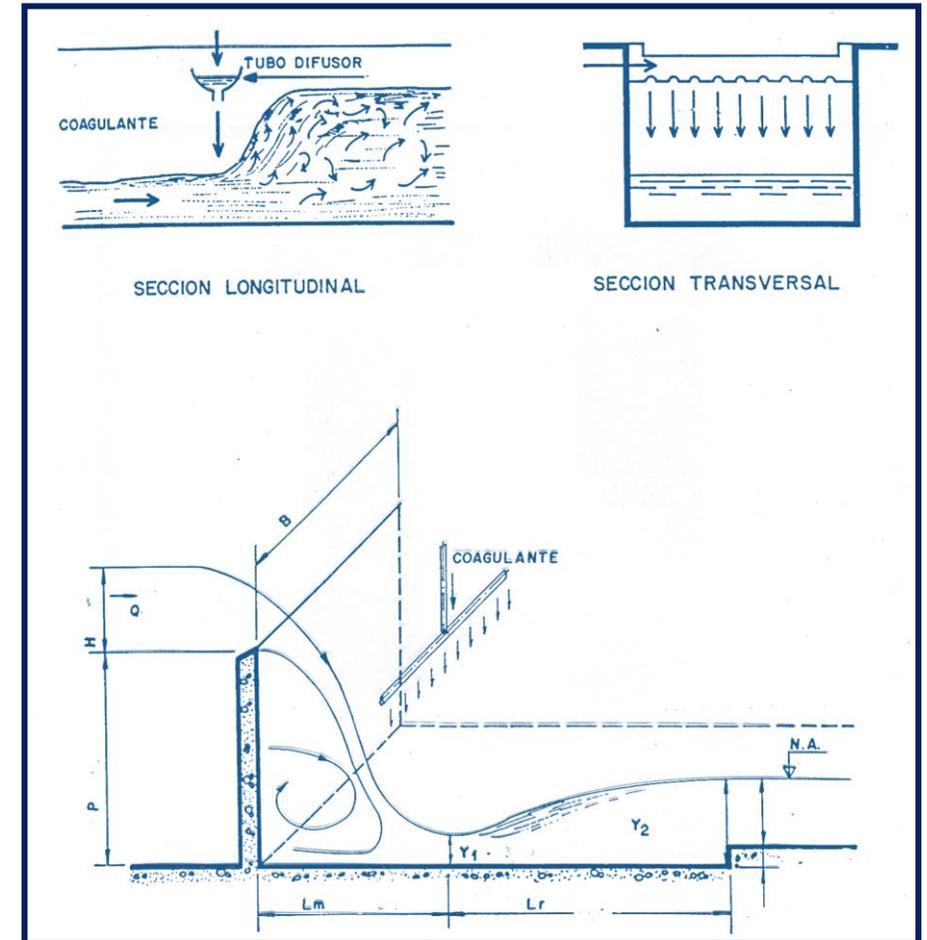
Factores que modifican la eficiencia de la mezcla rápida

- ✓ **Características del agua cruda**
 - ✓ Concentración de coloides
 - ✓ Ph
 - ✓ Alcalinidad

- ✓ **Sistema de aplicación del coagulante**
 - ✓ Secuencia de aplicación de sustancias químicas
 - ✓ Dosificación constante
 - ✓ Distribución uniforme en toda la sección

- ✓ **Intensidad (G) y tiempo de mezcla rápida (T)**

- ✓ **Tipo de dispositivo de mezcla**



Rango óptimo de gradientes de velocidad para mezcla rápida

GRADIENTE DE VELOCIDAD	UNIDADES DE MEZCLA
700 - 1300 s ⁻¹	DIFUSORES Y RESALTOS HIDRAÚLICOS
3000 - 5000 s ⁻¹	MEZCLADORES EN LÍNEA

Rangos recomendables de los parámetros del proceso de mezcla rápida

PARÁMETRO	RANGO
Intensidad de agitación (G)	700 a 1.300 s ⁻¹
Tiempo de retención (T)	10 ⁻¹ a 7 s

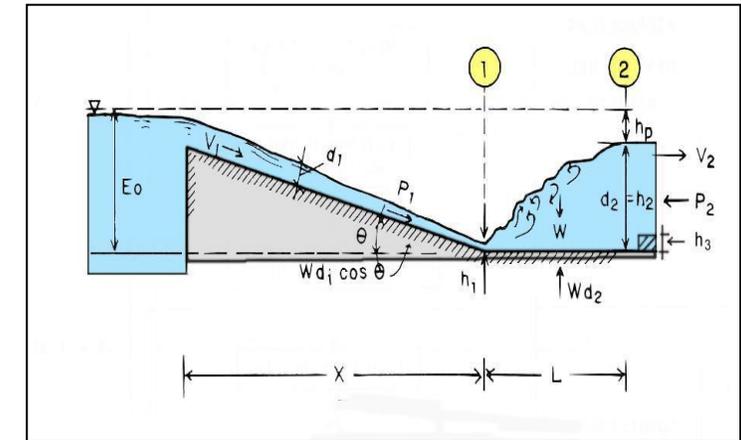
Clasificación de las unidades de mezcla rápida

Mecánicos	Retromezclador	De una cámara	
		Con cámaras en serie	
		En línea	
Hidráulicos	Resalto hidráulico	Canaleta Parshall	En canales
		Canal de fondo inclinado	
		Vertedero Rectangular	
	Línea	Difusores	En tuberías
		Inyectores	En canales
		Estáticos	
	Caídas	Orificios	En tuberías
		Vertederos triangulares	
	Contracciones	Medidor Venturi	En Tuberías
		Reducciones	
		Orificios ahogados	
	Velocidad o cambio de flujo	Línea de bombeo	
Codos			

Unidades hidráulicas más utilizadas

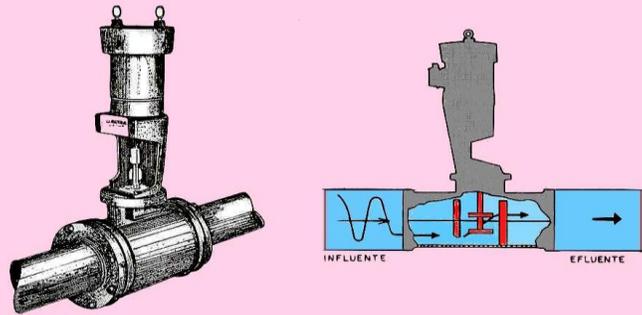
- CANALES CON CAMBIO DE PENDIENTE O RAMPAS
- CANALETAS PARSHALL
- VERTEDEROS RECTANGUALES Y TRIANGUALES
- DIFUSORES
- INYECTORES

MEZCLADORES
DE RESALTO ADEMÁS
COMO MEDIDORES
DE ACUDAL

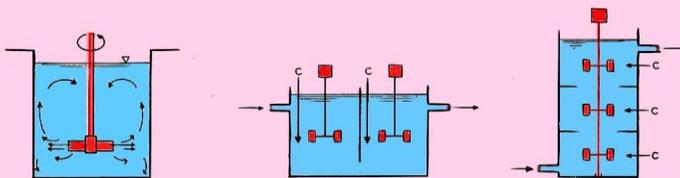


La canaleta Parshall es adecuada exclusivamente para plantas de medianas a grandes ($Q \geq 500$ L/s). El canal con cambio de pendiente se adecúa a cualquier rango de caudal, y los vertederos rectangular y triangular solo a caudales pequeños; el último, preferiblemente a caudales menores de **30** L/s.

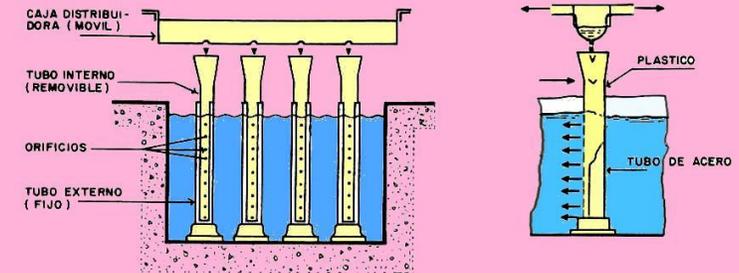
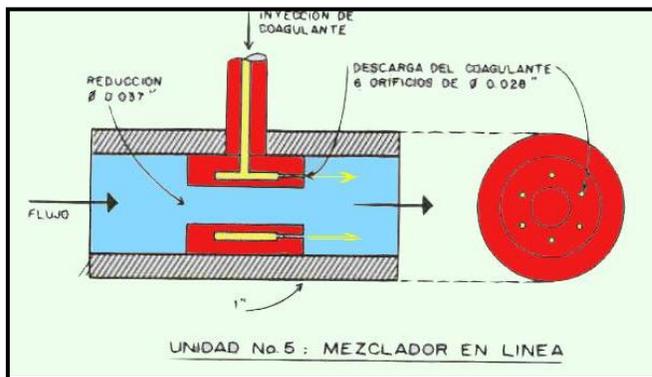
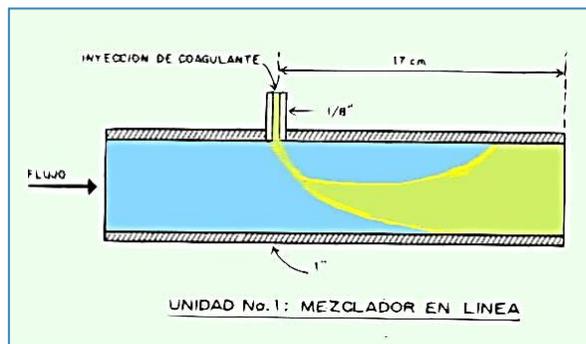
Mezcladores



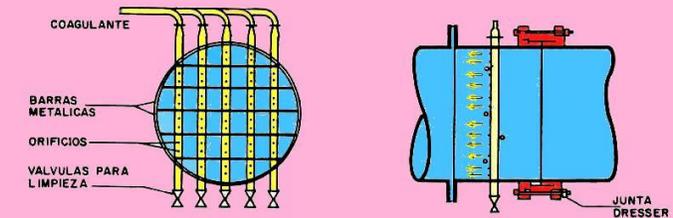
Mezclador en línea mecanizado



Unidades de mezcla mecánicas

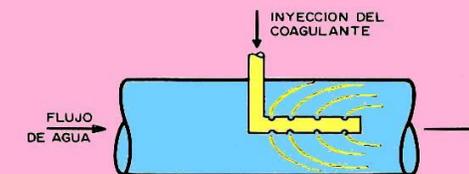


a) Difusor en Canal



b) Difusor en Tubería

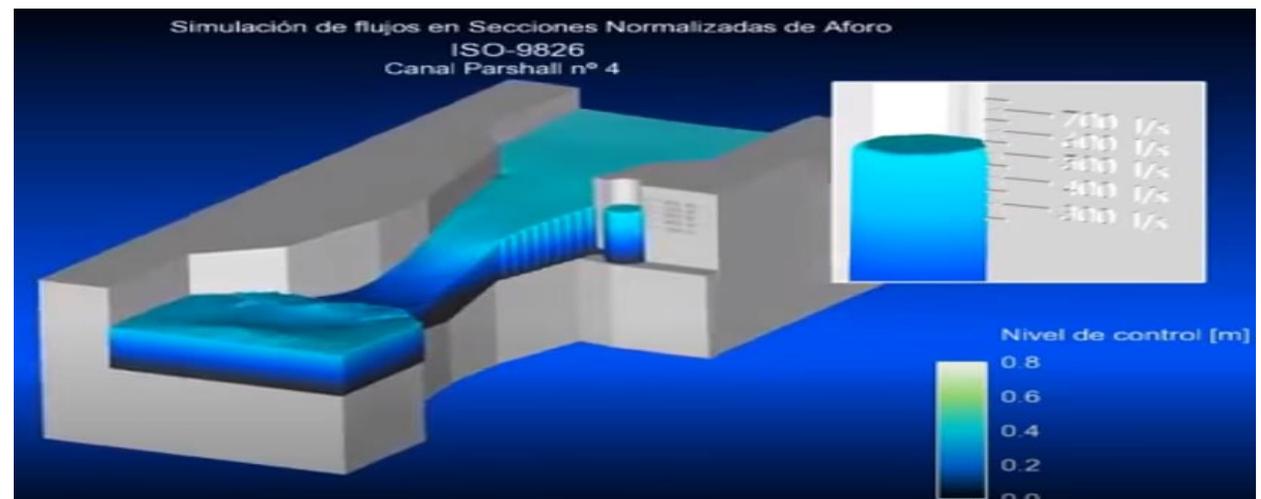
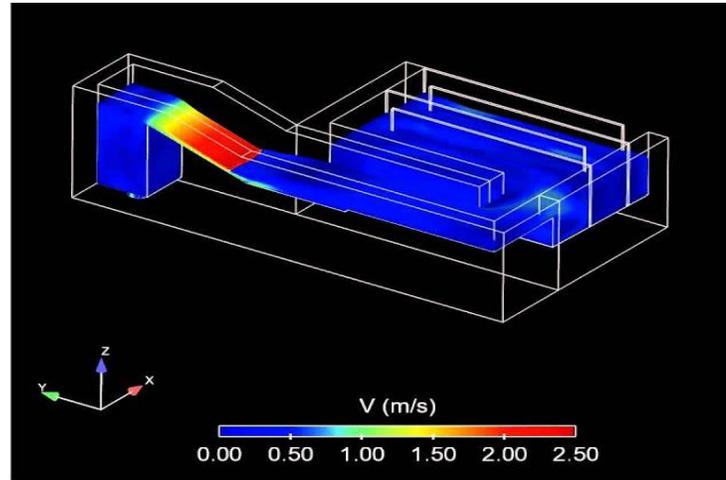
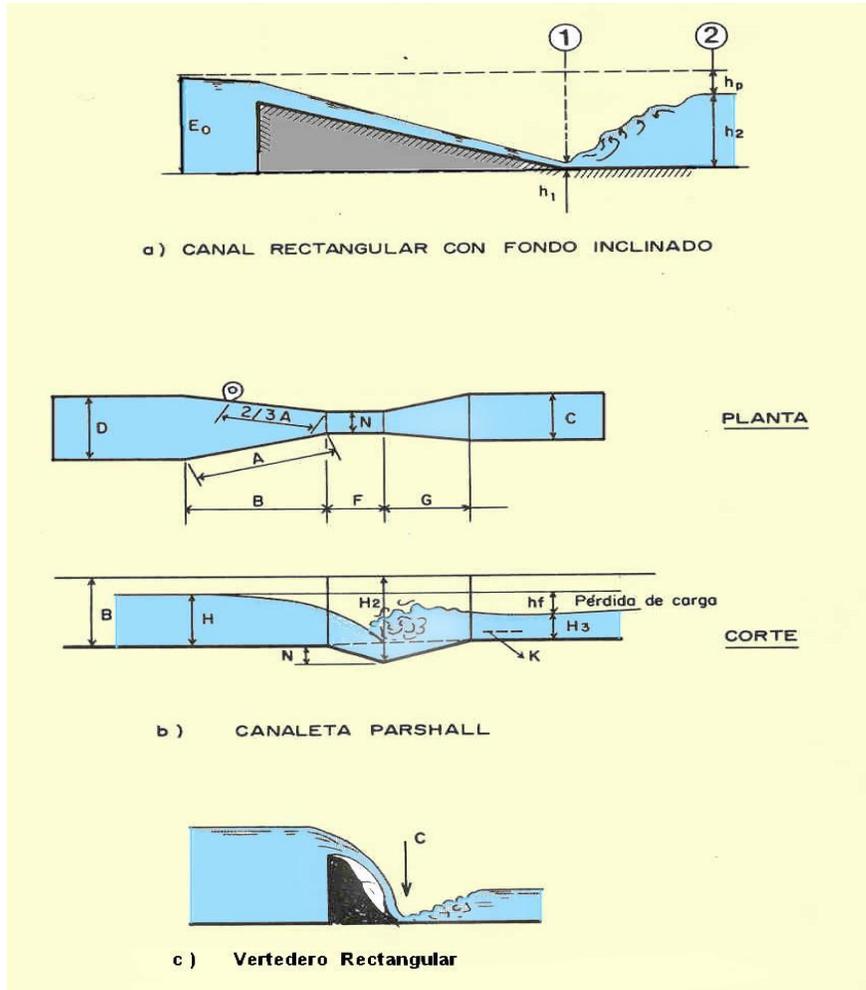
Mezcladores Hidráulicos en línea - Difusores



Mezclador Hidráulico en línea - Inyector

Mezcladores hidráulicos de resalto

La potencia disipada en los mezcladores hidráulicos *es función de la forma geométrica del mezclador y de las características del flujo*, por lo tanto son difíciles de controlar por el operador.

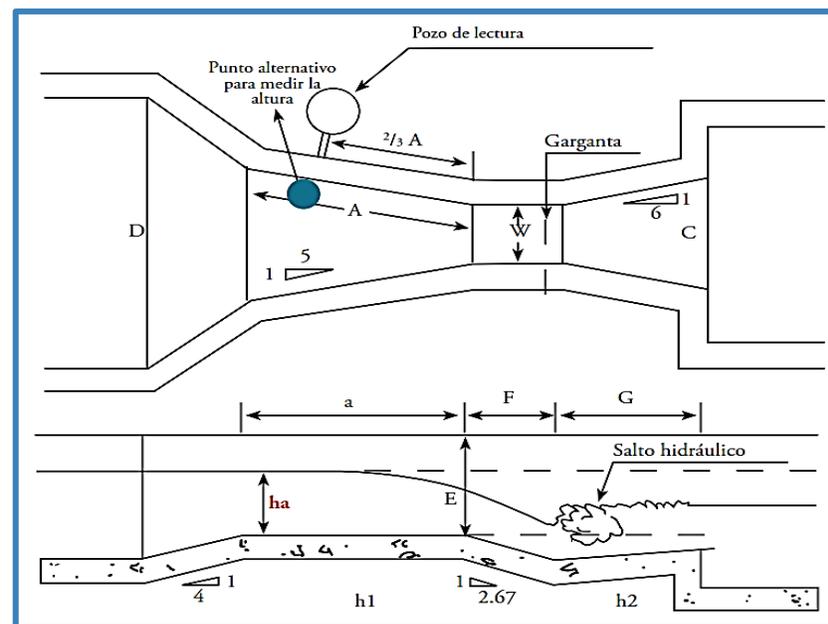
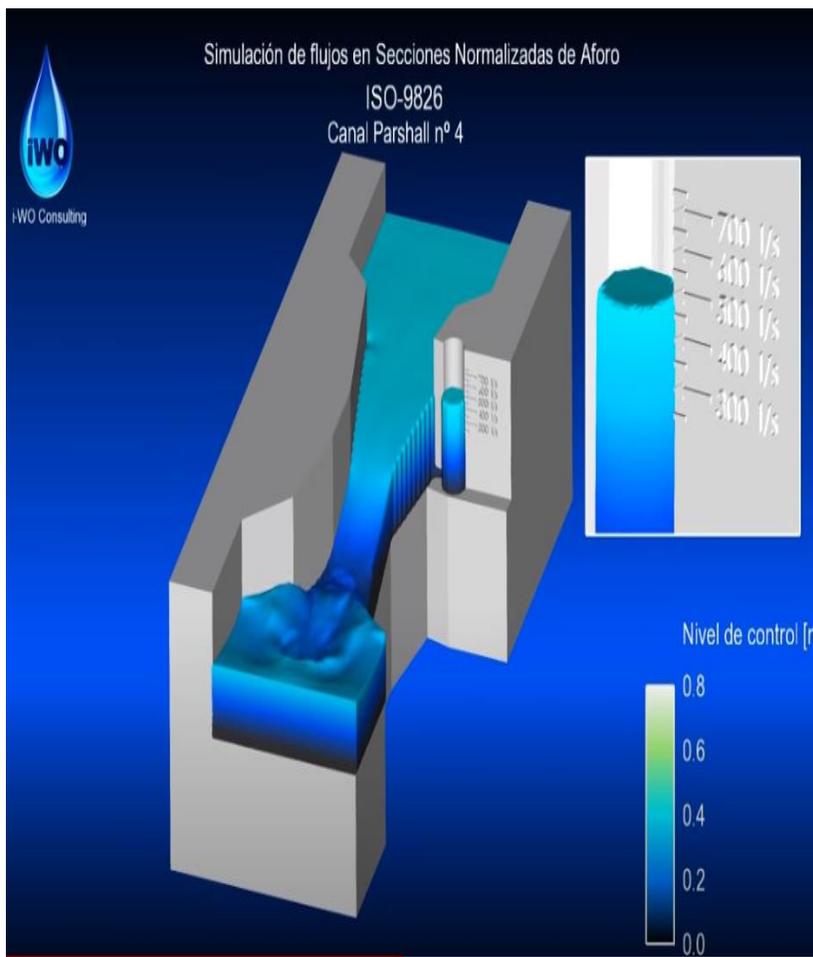


Cálculo del caudal, canaleta Parshall

$$Q = C * (H_a)^n$$

Ancho de garganta, W mm	Ecuación de Caudal, Q L/s
25.4 (1")	$Q = 0.001352 H_a^{1.55}$
50.8 (2")	$Q = 0.002702 H_a^{1.55}$
76.2 (3")	$Q = 0.003965 H_a^{1.55}$
152.4 (6")	$Q = 0.006937 H_a^{1.50}$
228.6 (9")	$Q = 0.013762 H_a^{1.53}$

Ancho de garganta, W m	Ecuación de caudal Q m ³ /s
0.3048 (12")	$Q = 0.6909 H_a^{1.52}$
0.4572 (18")	$Q = 1.056 H_a^{1.538}$
0.6096 (24")	$Q = 1.428 H_a^{1.55}$
0.9144 (36")	$Q = 2.184 H_a^{1.566}$
1.2192 (48")	$Q = 2.953 H_a^{1.578}$
1.5240 (60")	$Q = 3.732 H_a^{1.587}$
1.8288 (72")	$Q = 4.519 H_a^{1.595}$
2.1336 (84")	$Q = 5.312 H_a^{1.601}$
2.4384 (96")	$Q = 6.112 H_a^{1.607}$



Observaciones:

- Con caudal libre se mide únicamente el nivel h_a , Nivel de agua antes de la garganta
- En la parte de salida, la única exigencia es que el flujo discorra libremente.
- $h_b < 0.7 \times h_a$ o bien 5 veces la garganta.

Caudales en canaletas Parshall

FLUJOS (GASTO) DE AGUA PARA PARSHALL DE 1", 2" y 3"

PARSHALL 1"		PARSHALL 2"		PARSHALL 3"	
Ha (mm)	Q (l/s)	Ha (mm)	Q (l/s)	Ha (mm)	Q (l/s)
10	0.05	10	0.10	50	1.70
20	0.14	20	0.28	100	4.99
30	0.26	30	0.53	150	9.36
40	0.41	40	0.82	200	14.62
50	0.58	50	1.16	250	20.66
60	0.77	60	1.54	300	27.40
70	0.98	70	1.96	350	34.80
80	1.20	80	2.41	400	42.80
90	1.45	90	2.89	450	51.37
100	1.70	100	3.40	500	60.48
110	1.97	110	3.94	550	70.11
120	2.26	120	4.51	600	80.24
130	2.56	130	5.11		
140	2.87	140	5.73		
150	3.19	150	6.38		
160	3.53	160	7.05		
170	3.87	170	7.74		
180	4.23	180	8.46		
190	4.60	190	9.20		
200	4.98	200	9.96		
210	5.38	210	10.74		
220	5.78	220	11.55		
230	6.19	230	12.37		

FLUJOS (GASTO) DE AGUA PARA PARSHALL DE 6", 9" y 12"

PARSHALL 6"		PARSHALL 9"		PARSHALL 12"	
Ha (mm)	Q (l/s)	Ha (mm)	Q (l/s)	Ha (m)	Q (m3/s)
50	3.35	50	5.47	0.05	0.01
100	10.03	100	15.80	0.10	0.02
150	19.03	150	29.38	0.15	0.04
200	29.98	200	45.63	0.20	0.06
250	42.65	250	64.20	0.25	0.08
300	56.89	300	84.85	0.30	0.11
350	72.58	350	107.43	0.35	0.14
400	89.62	400	131.78	0.40	0.17
450	107.96	450	157.80	0.45	0.20
500	127.51	500	185.40	0.50	0.24
550	148.23	550	214.50	0.55	0.28
600	170.08	600	245.05	0.60	0.32
		650	276.97	0.65	0.36
		700	310.23	0.70	0.40
		750	344.77	0.75	0.45
				0.80	0.49
				0.85	0.54
				0.90	0.59

Validez de los caudales

Estas medidas de caudal son válidas si el canal Parshall trabaja a descarga libre, es decir, que la relación entre los calados en zona convergente (H_a) y garganta (H_b) se encuentra por debajo de estos valores:

Ancho de la garganta, W (mm)	Sumergencia máxima permitida, S (%)	Ancho de la garganta, W (m)	Sumergencia máxima permitida, S (%)	Ancho de la garganta, W (m)	Sumergencia máxima permitida, S (%)
25.4	50	0.3048	70	2.4384	70
50.8	50	0.4572	70	3.0480	80
76.2	50	0.6096	70	3.6580	80
152.4	60	0.9144	70	4.5720	80
228.6	60	1.2192	70	6.0960	80
		1.5240	70	7.6200	80
		1.8288	70	9.1440	80
		2.1336	70	12.1920	80
				15.2400	80

Cuando se superan esos umbrales, se dice que la descarga entra en sumergencia lo cual repercute en una reducción de los caudales según la siguiente relación:

Donde:

$$Q_s = Q - Q_e$$

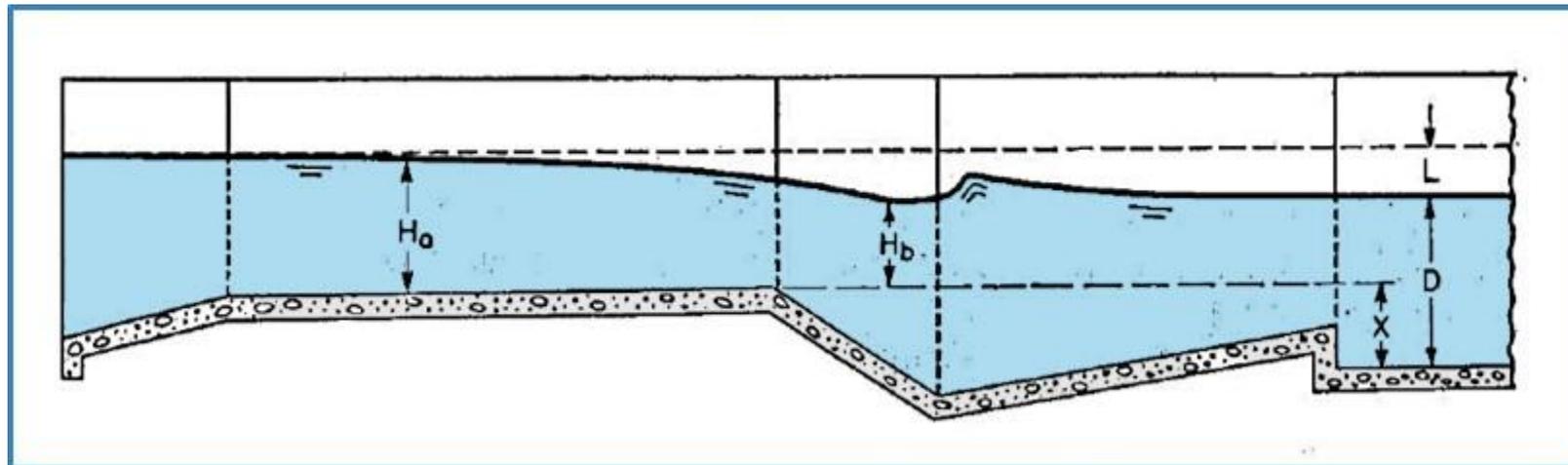
Q_s es el caudal aforado bajo condiciones de sumergencia,
 Q el caudal teórico de la expresión matemática general y
 Q_e el caudal de corrección

Sumergencia de la canaleta parshall

Es un parámetro que clasifica la descarga en libre o ahogada. Cuando la sumergencia excede los límites indicados (Ver Tabla) el flujo se vuelve sumergido.

$$S = \frac{H_b}{H_a}$$

El efecto de la sumergencia es de reducir el caudal. En este caso el caudal calculado mediante las ecuaciones anteriores debe corregirse mediante una cantidad negativa.





Correcciones de caudales

Ecuación para caudal sin sumergencia:

$$Q = 0.00396H^{1.55}$$

Sumergencia límite: **50%**

Ha, mm	Q, L/s
20	0.41
30	0.77
40	1.20
50	1.70
60	2.26
70	2.87
80	3.53
90	4.23
100	4.99
110	5.78
120	6.61
130	7.49
140	8.40
150	9.35
160	10.33
170	11.35
180	12.40
190	13.48
200	14.60
210	15.74
220	16.92
230	18.13

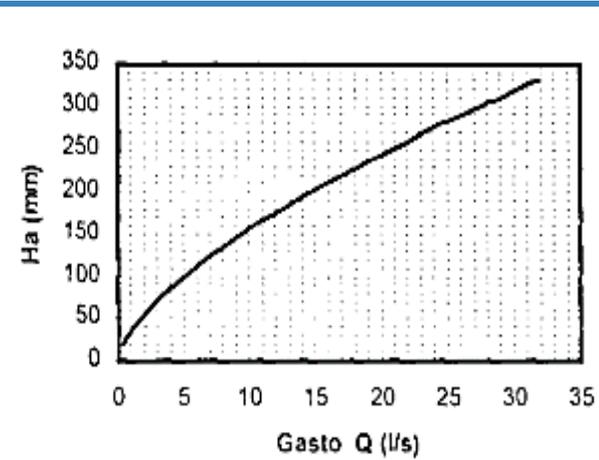


Figura A.7. Gasto sin sumergencia.

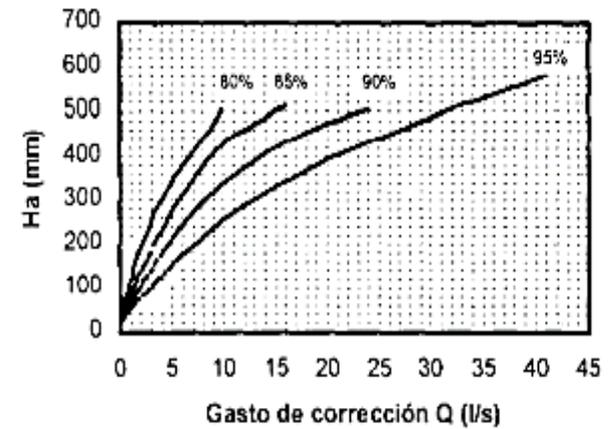


Figura A.9. Corrección de gasto para sumergencia de 80 a 95% (W= 76.2 mm)

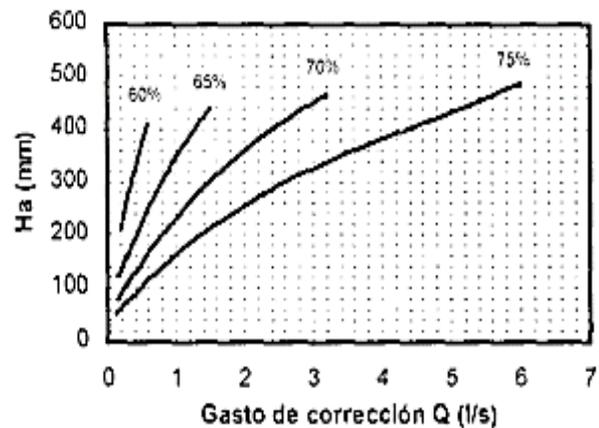


Figura. Corrección de caudal para sumergencia de 60 a 75% (W= 76.2mm).

Floculación

La floculación es la **agitación de la masa de agua coagulada, para promover el crecimiento del micro flóculo** recién formado, hasta alcanzar el tamaño y peso necesario para su posterior remoción mediante la sedimentación.

Mecánica del proceso:

- Floculación pericinética
- Floculación ortocinética
- Sedimentación diferencial



Factores Operacionales que la afectan

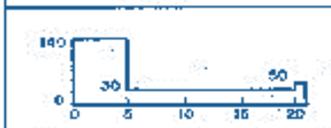
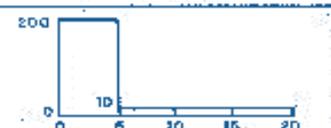
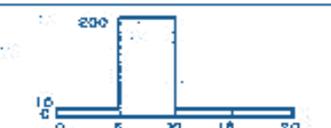
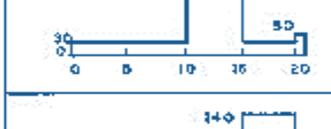
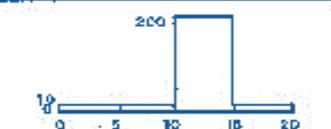
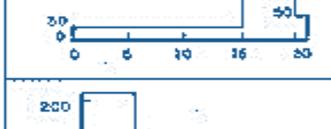
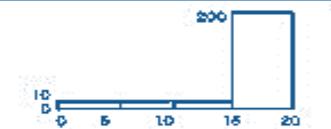
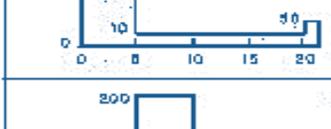
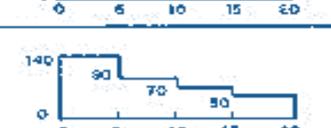
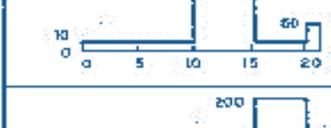
- ❖ Gradiente de velocidad ($G \ 20 - 70 \ s^{-1}$)
- ❖ Tiempo de retención ($T \ 15 - 20 \ min$)
- ❖ El producto de ambos ($G \cdot T$), que viene a ser el número de Camp.

Factores que afectan la Floculación

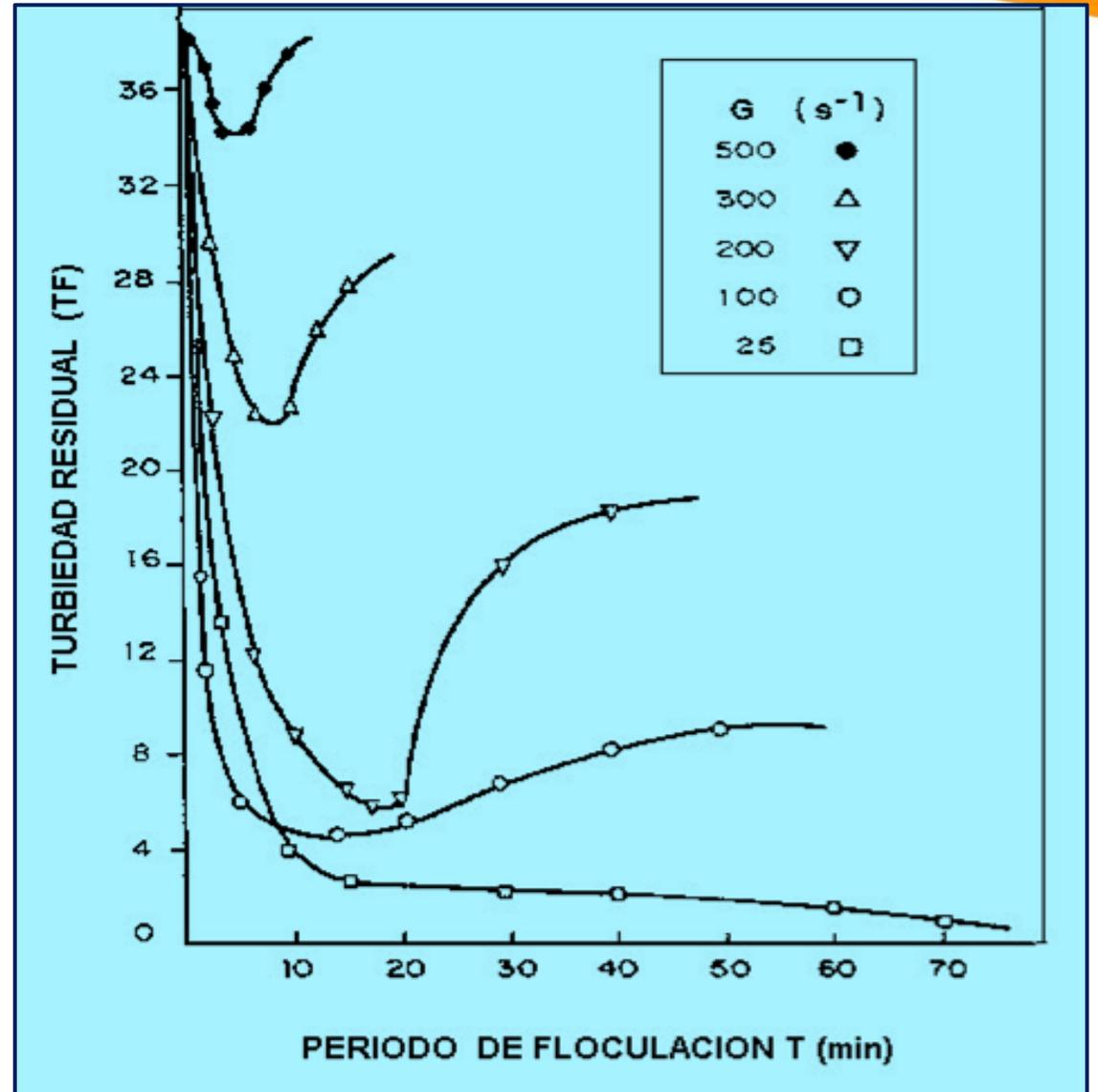
- ❖ La naturaleza del agua
- ❖ Las variaciones de caudal
- ❖ La intensidad de agitación
- ❖ El tiempo de floculación y
- ❖ El número de compartimientos



Efecto de la variación del gradiente de velocidad en la turbiedad residual según {TEKIPPE Y HAM (1971)}

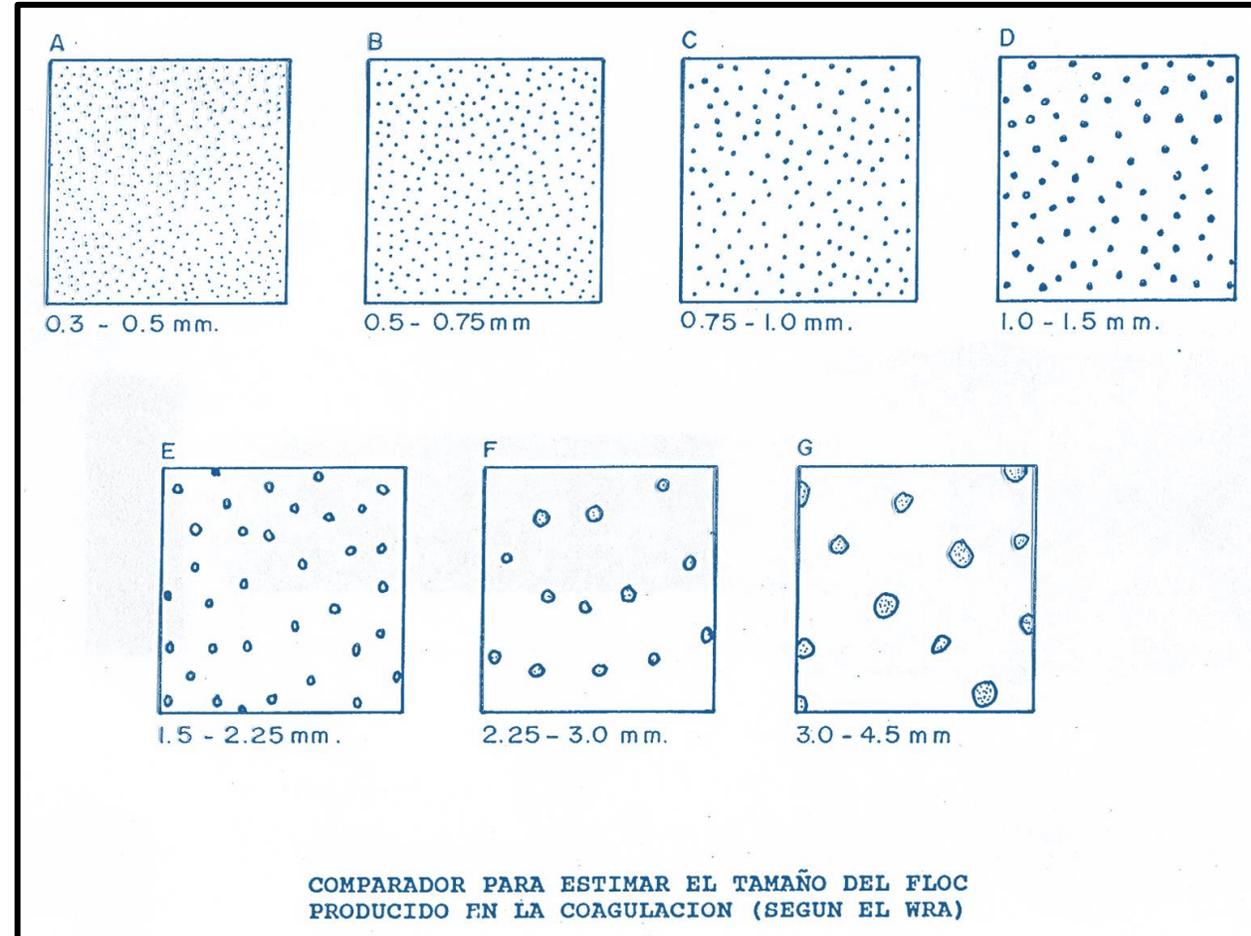
GRADIENTES DE VELOCIDAD VERSUS TIEMPO DE RETENCIÓN	TURBIEDAD RESIDUAL (τ_r)	GRADIENTES DE VELOCIDAD VERSUS TIEMPO DE RETENCIÓN	TURBIEDAD RESIDUAL (τ_r)
	0.40		1.35
	0.45		1.40
	0.65		1.65
	0.85		2.70
	1.20		0.37
	0.90		0.15
	0.90		
	0.90		

*Turbiedad residual vs
 Tiempos de floculación
 para varios valores de
 turbiedad, (Villegas y Letterman,
 1976) G*



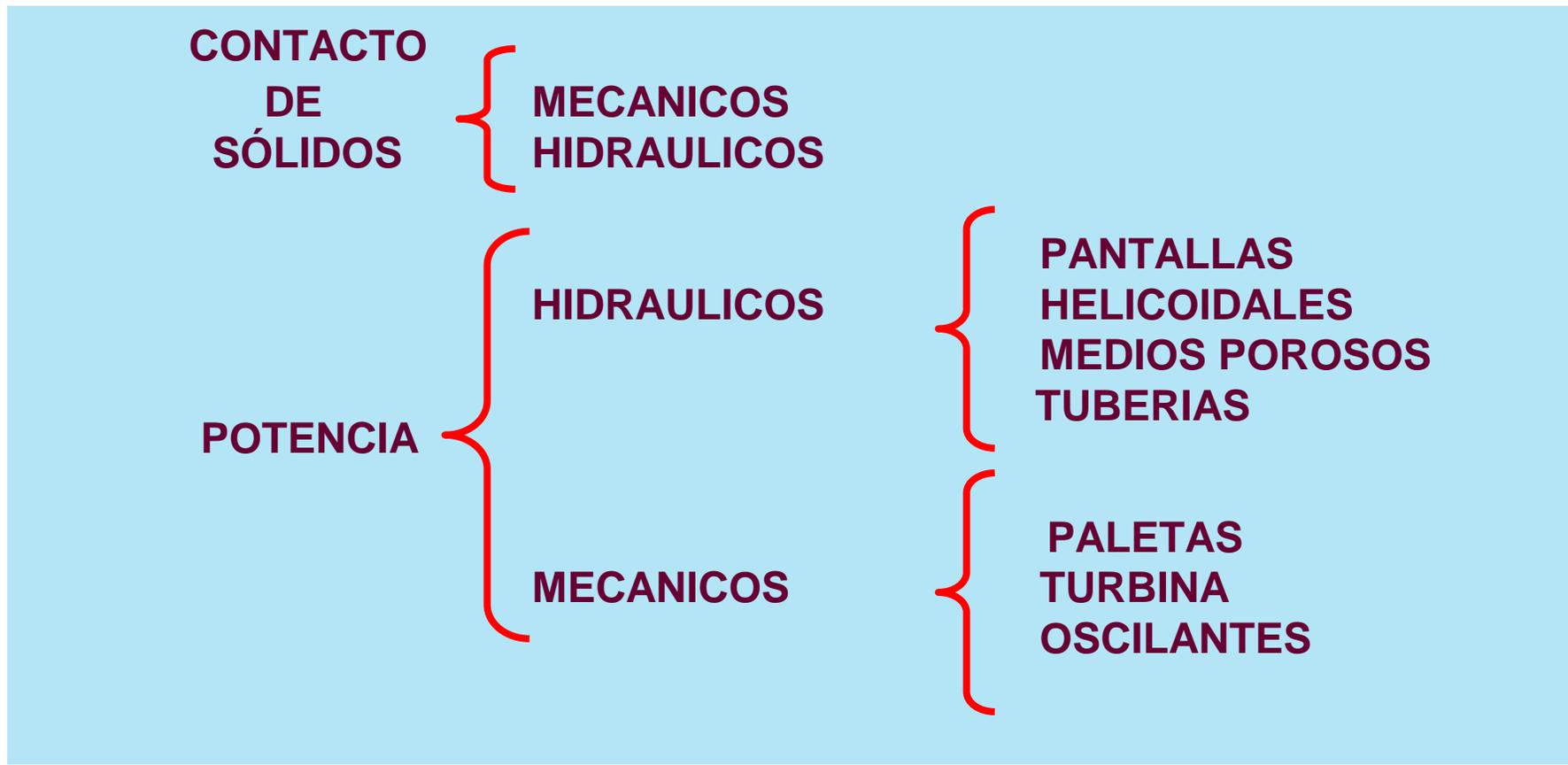
Índice de floculación de WILLCOMB

NÚMERO DEL INDICE	DESCRIPCIÓN
0	FLOC COLOIDAL. NINGÚN SIGNO DE AGLUTINACIÓN.
2	VISIBLE. FLOC MUY PEQUEÑO, CASI IMPERCEPTIBLE PARA UN OBSERVADOR NO ENTRENADO.
4	DISPERSO. FLOC BIEN FORMADO PERO UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDO. (SEDIMENTA MUY LENTAMENTE O NO SEDIMENTA).
6	CLARO. FLOC DE TAMAÑO RELATIVAMENTE GRANDE PERO QUE SEDIMENTA CON LENTITUD.
8	BUENO. FLOC QUE SE DEPOSITA FÁCIL PERO COMPLETAMENTE.
10	EXCELENTE. FLOC QUE SE DEPOSITA TODO DEJANDO EL AGUA CRISTALINA.

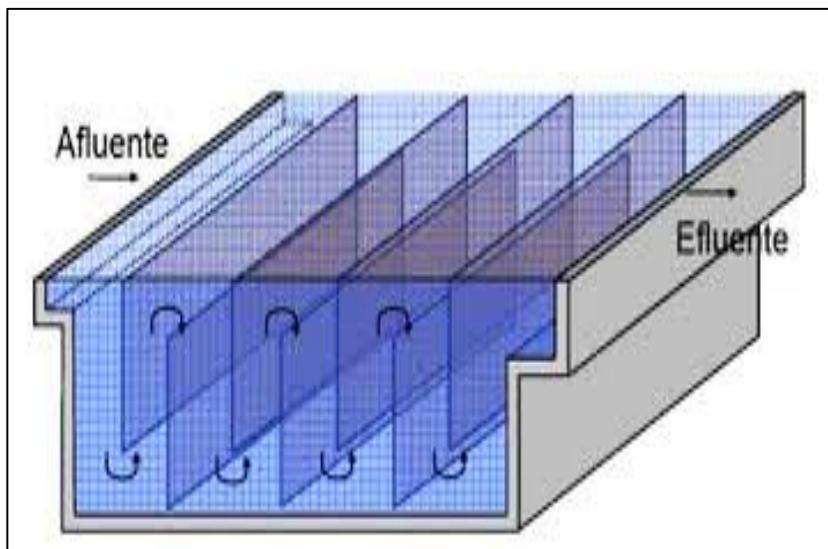
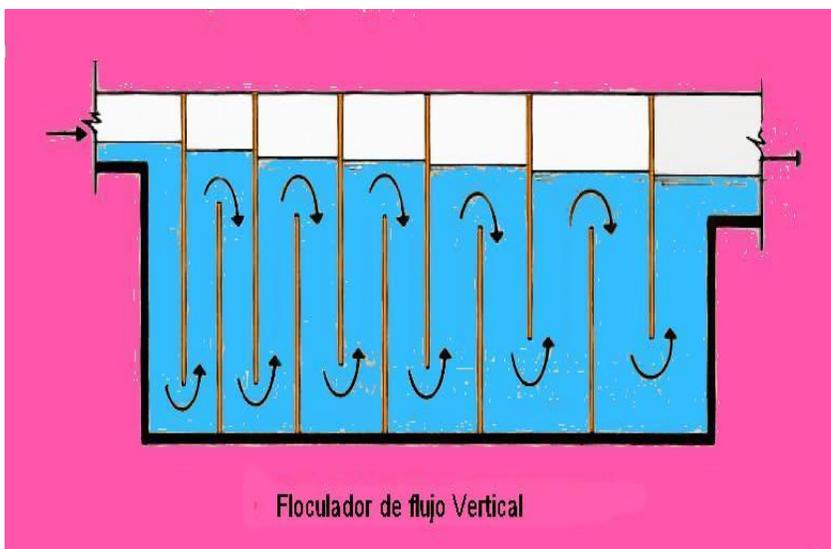
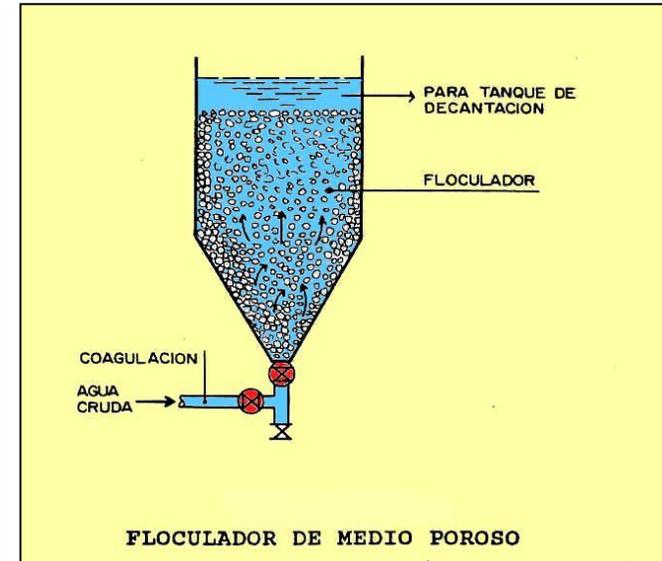
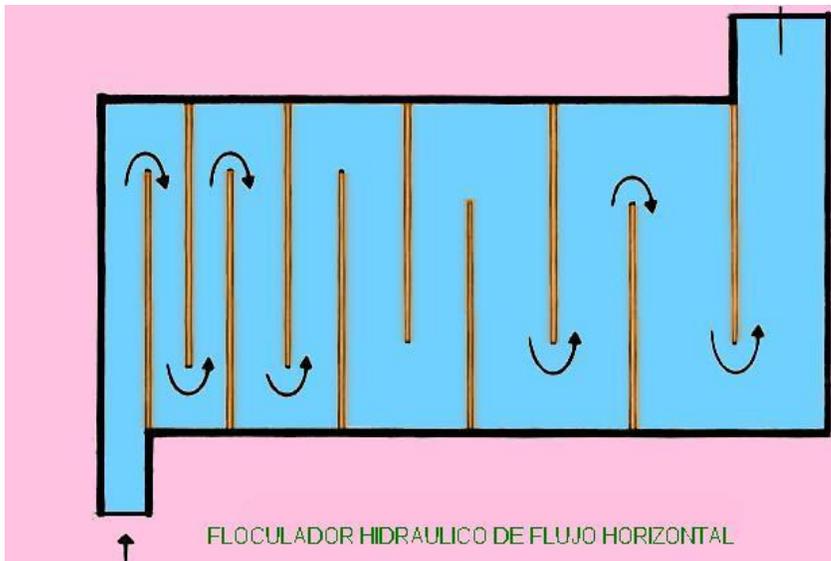


Floculadores

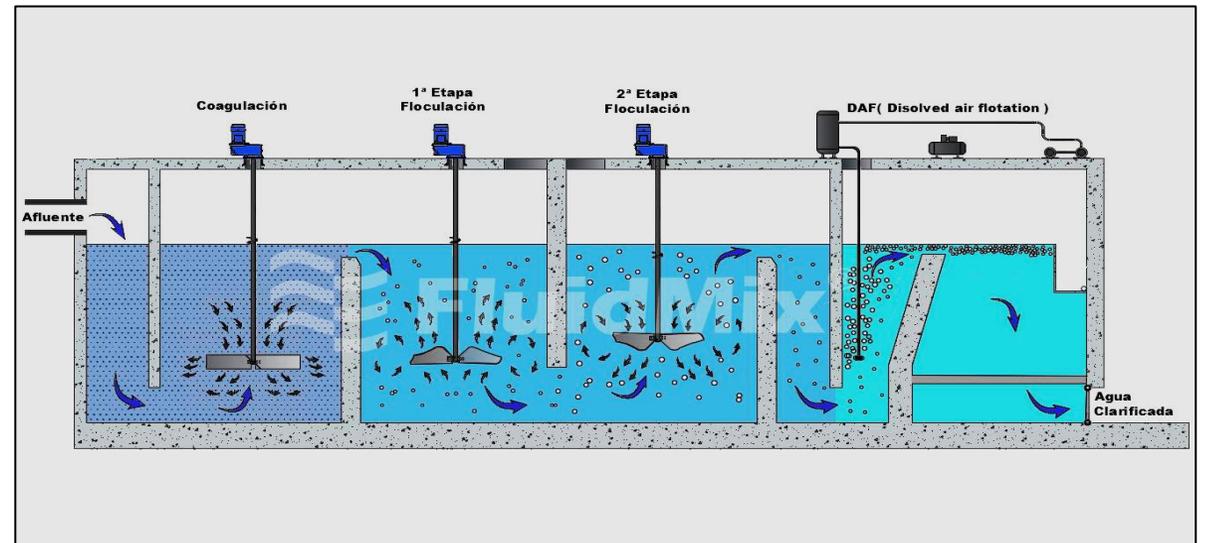
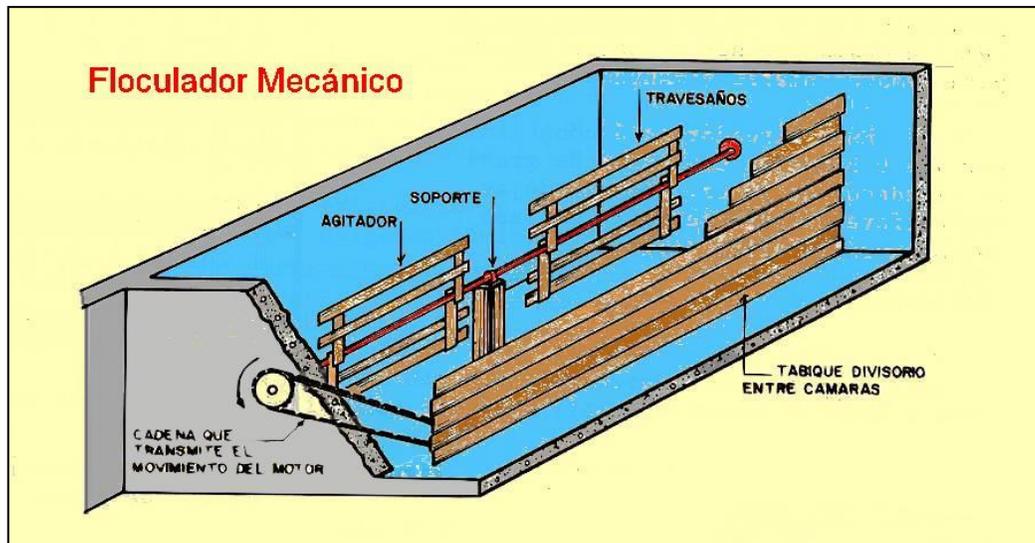
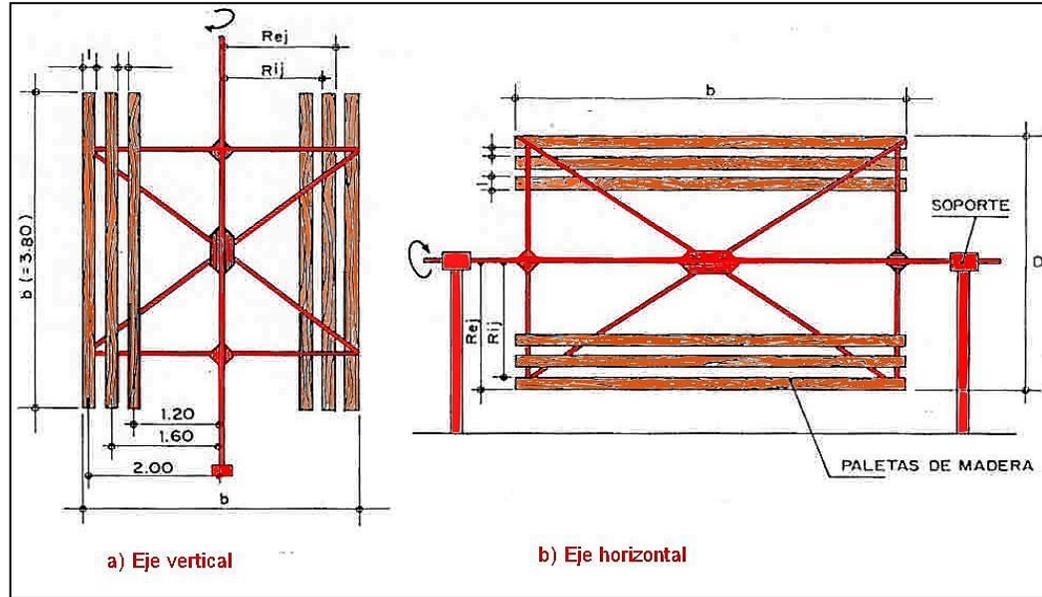
Se acostumbra clasificar a los floculadores en **mecánicos e hidráulicos de acuerdo al tipo de energía** utilizada para agitar la masa de agua. Una clasificación más amplia puede hacerse teniendo en cuenta el modo cómo se realiza la aglomeración de las partículas. De acuerdo a este principio podemos clasificarlos en:



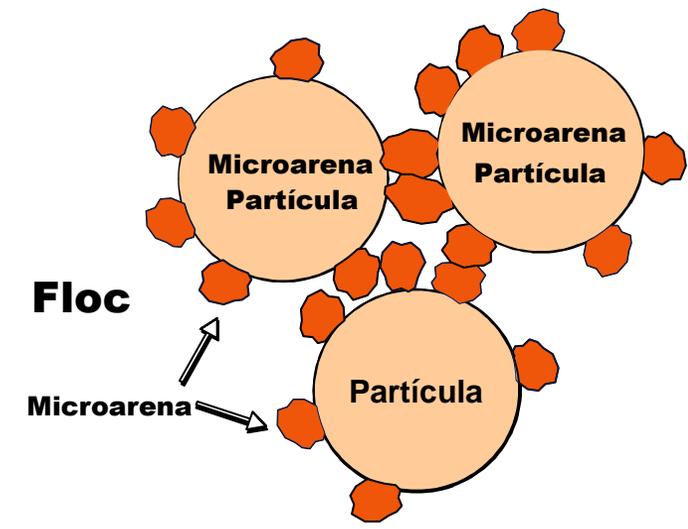
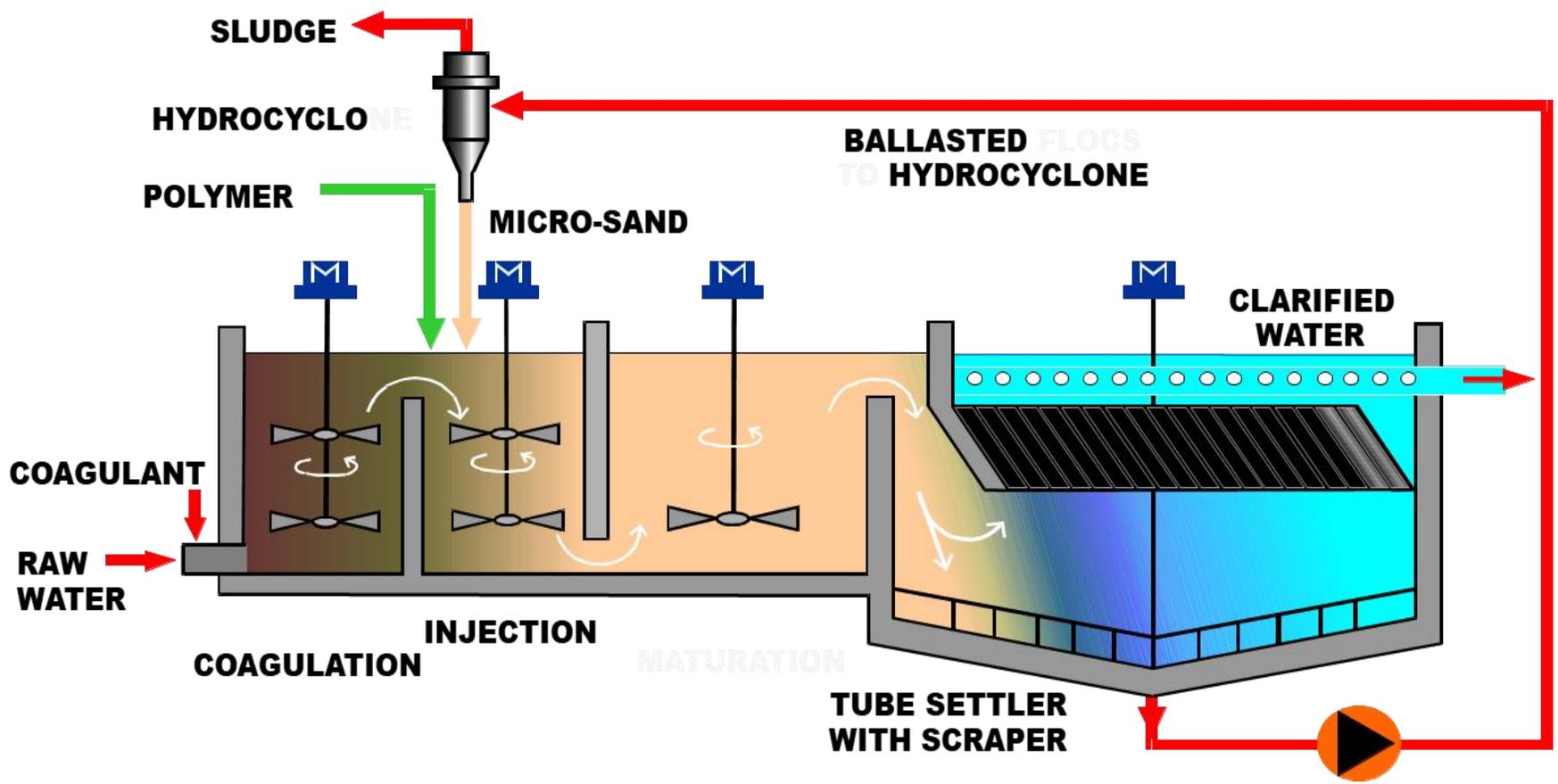
Floculadores Hidráulicos



Floculador mecánico de paletas



Floculación Lastrada

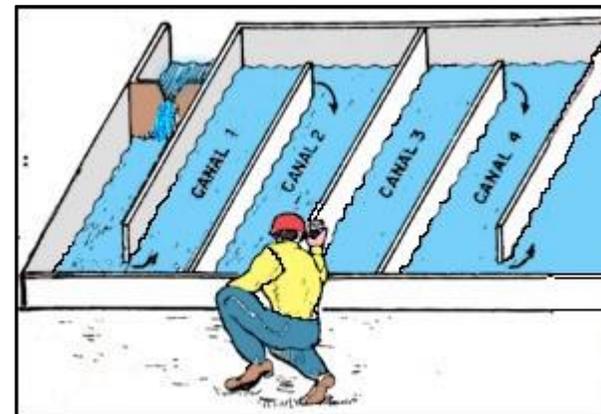
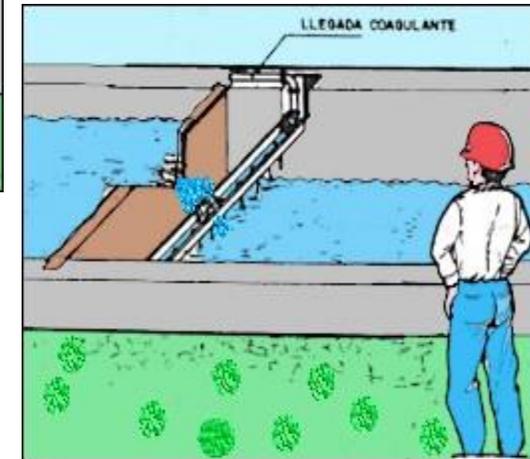
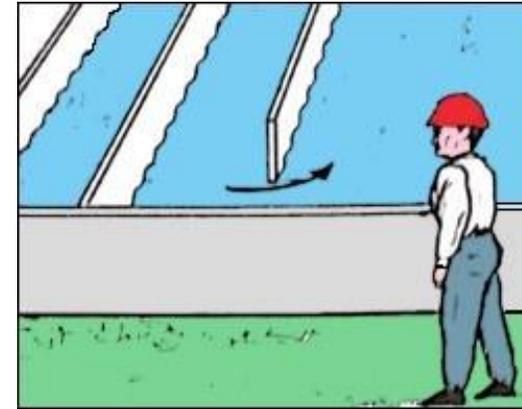


Operación de floculadores hidráulicos

Vigilar que el nivel del agua no exceda, ni baje el nivel normal de operación porque la velocidad se alteraría y afectaría la floculación.

Observar si la dosificación y mezcla están operando correctamente.

Observar en que parte se esta empezando a formar el floc, llenar un vaso de vidrio en el extremo opuesto a la salida de la mezcla rápida.

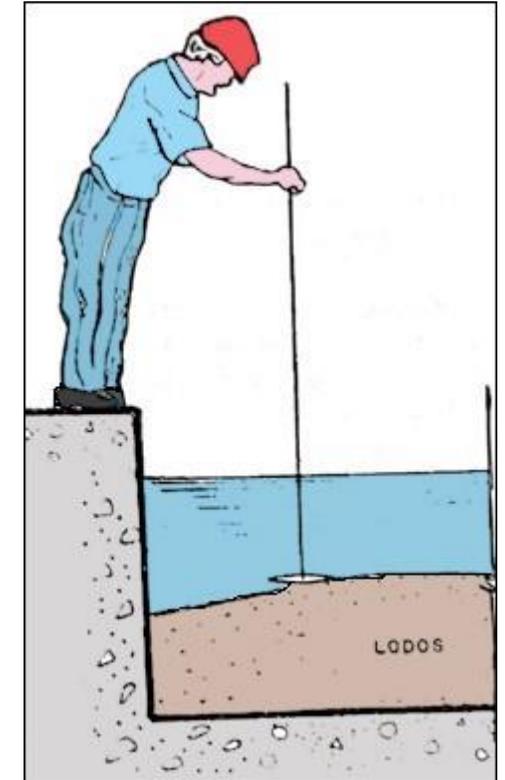
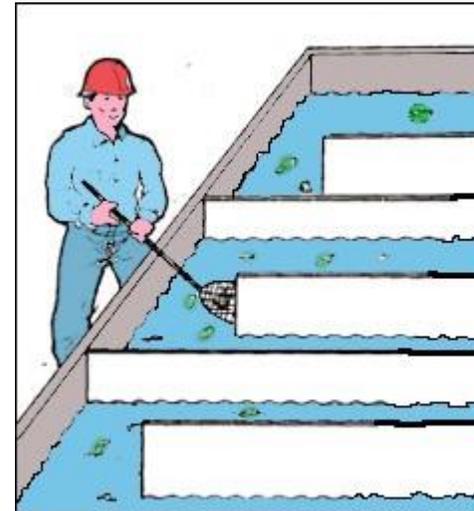
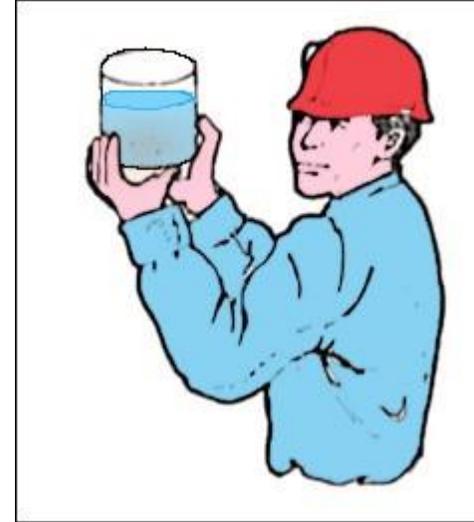


Operación de floculadores hidráulicos, *continuación*

Subir el vaso a la altura de los ojos y observar si inició la formación de flóculos. Repetir la operación al final de cada canal hasta que se visualicen. Anotar en que canal se encontraron. Deberían encontrarse en el primer tercio de la unidad caso contrario indicaría que la mezcla o la dosificación son malas.

Observar si se produce sedimentación en los últimos tramos del floculador

Retirar las natas y espumas de la superficie del agua, si existieran.



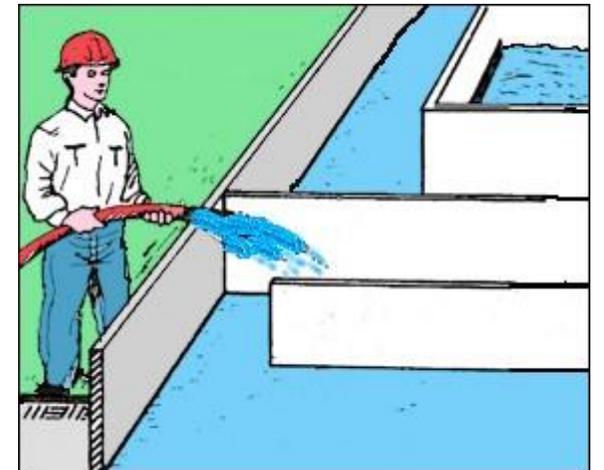
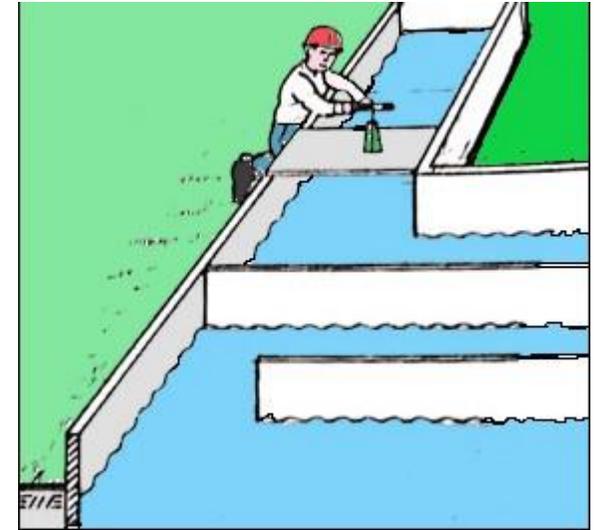
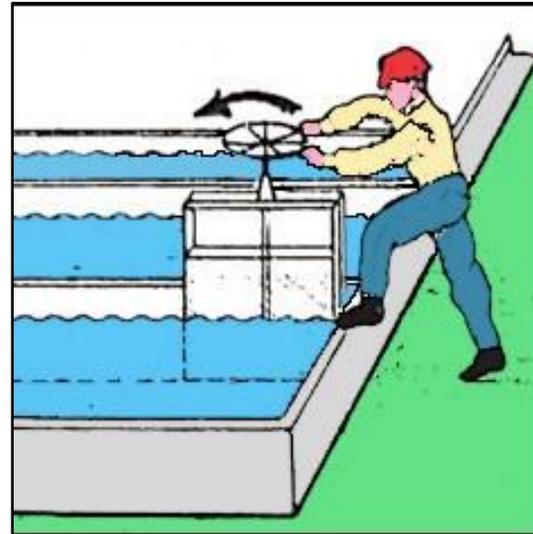
Operación de floculadores hidráulicos, *continuación*

Abrir la compuerta de fondo para vaciar la unidad.

Cerrar la compuerta de ingreso, si fuera la única unidad se cerrará el ingreso a la planta.

Vacía la unidad se lavarán la paredes y el fondo con corros de agua a presión.

Una vez limpios se cierra la válvula de limpieza y se abre la de la entrada y se pone nuevamente en funcionamiento.



Mantenimiento de los floculadores

- ✓ lubricación de las partes mecánicas;
- ✓ limpieza periódica: esta limpieza se realiza vaciando la unidad. Debe ser simultánea a la limpieza de los decantadores;
- ✓ comprobar en qué parte de la unidad se está empezando a formar el flóculo. ideal en el primer tercio;
- ✓ si en los primeros compartimientos se está **formando una espuma amarillenta** sobre la superficie del agua, **indica que la dosis de coagulante es excesiva**, revisar la dosis coagulante aplicada o la calibración del dosificador para realizar los ajustes correspondientes;
- ✓ **verificar la existencia de zonas muertas**, donde se pueden depositar los flóculos. porque se fermenta fácilmente y puede producir sabor y olor en el agua;
- ✓ verificar si por el exceso de velocidad de las aguas, los flóculos se rompen en la entrada de los decantadores. Si esto sucede, se debe disminuir el caudal;
- ✓ **revisar si faltan pantallas**, porque esto distorsiona el flujo de la unidad, lo cual crea zonas muertas y pasos directos del agua. Esto disminuye el gradiente y el tiempo de permanencia del agua en la unidad y afecta la formación del flóculo;
- ✓ Después del mantenimiento revisar la disposición de las pantallas removidas y **comprobar que no se haya alterado el espaciamiento entre ellas y la amplitud de las vueltas**. Porque si se modifican, se crean variaciones en la velocidad del flujo, que afectan la formación del flóculo.

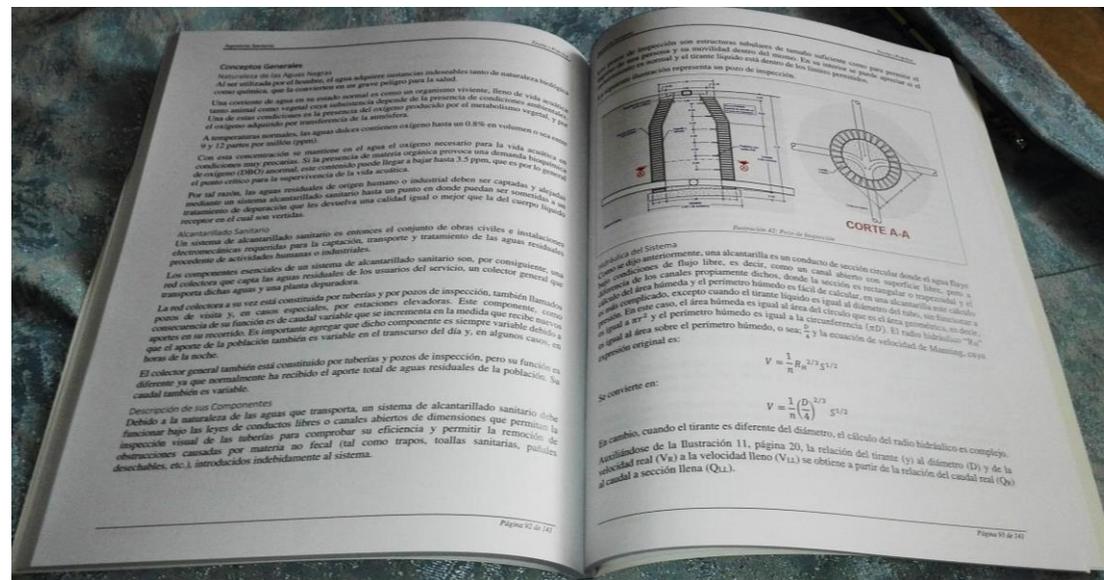


Receso Para Preguntas



INGENIERÍA SANITARIA
Teoría y Práctica
Conceptos teóricos y prácticos de mecánica de fluidos aplicados a la enseñanza y aprendizaje de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario

Mario Alfredo Vallejo Mejía
Ingeniero Civil y Sanitario
Post Grado de la Escuela de Salud Pública de São Paulo, Brasil.



Sedimentación

Es la remoción por efecto gravitacional, de las partículas en suspensión en un fluido, que tienen un peso mayor que el mismo.

- *Sólidos sedimentables* = Sedimentan en un intervalo de tiempo definido.
- *Partículas Discretas* = Son las que no cambian sus características (Forma, Tamaño y Densidad) al, Sedimentar
- *Partículas Floculentas* = Cambian sus características al Decantar, se forman por la unión de partículas coloidales al agregarle los productos químicos.

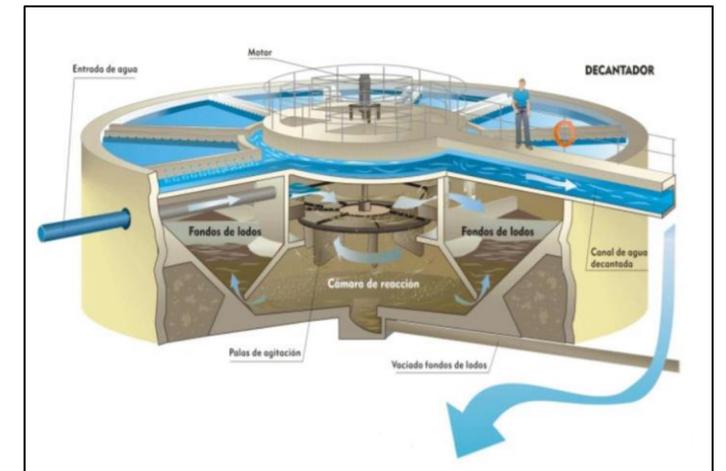
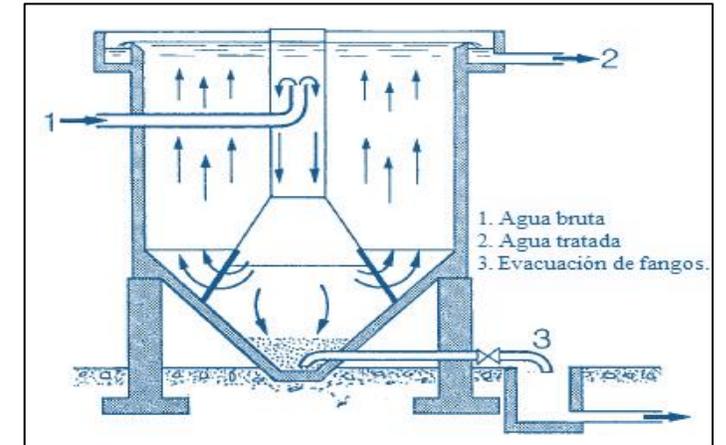
Sedimentadores y Decantadores

La sedimentación y la decantación de acuerdo al tipo de proceso que se realice en cada unidad. se efectúan en reactores denominados:

- ✓ **Sedimentadores o**
- ✓ **Decantadores.**

La clasificación más recomendable sería:

- Sedimentadores o Decantadores Estáticos
- Decantadores Dinámicos
- Decantadores Laminares



Mecanismo de la decantación

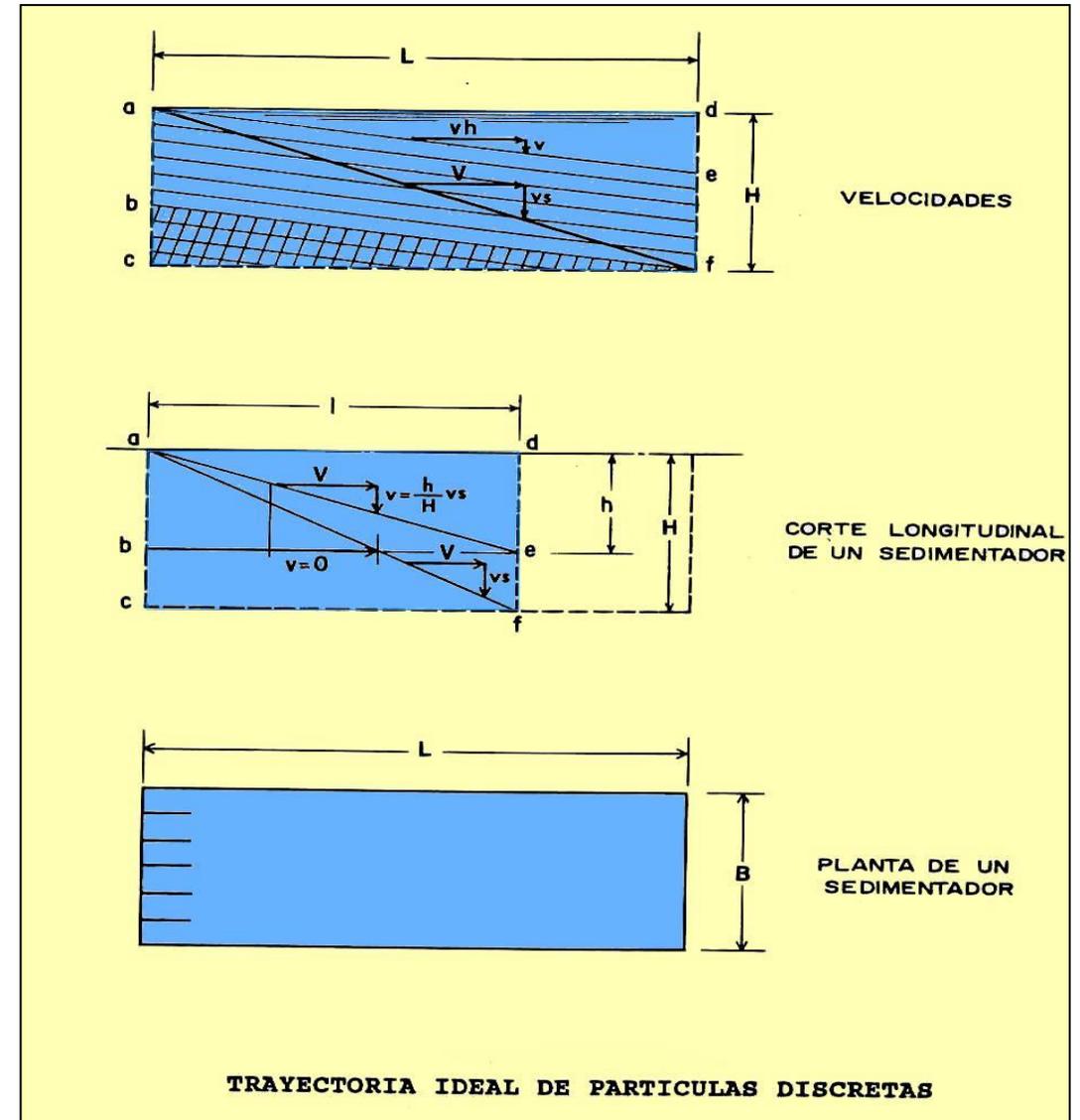
Cada partícula tiene una velocidad máxima por encima de la cual no hay decantación.

Esta velocidad depende de la forma y, principalmente, de la densidad de la sustancia considerada.

Una partícula dentro de la masa de agua del decantador está sujeta a la acción de dos fuerzas:

- 1) **fuerza horizontal** resultante del movimiento del agua en el decantador, que origina la velocidad horizontal (**VH**);
- 2) **fuerza vertical** debida a la acción de la gravedad, que causa la velocidad de sedimentación (**Vs**).

En consecuencia, la partícula avanza en el decantador y baja simultáneamente hasta aproximarse al fondo.



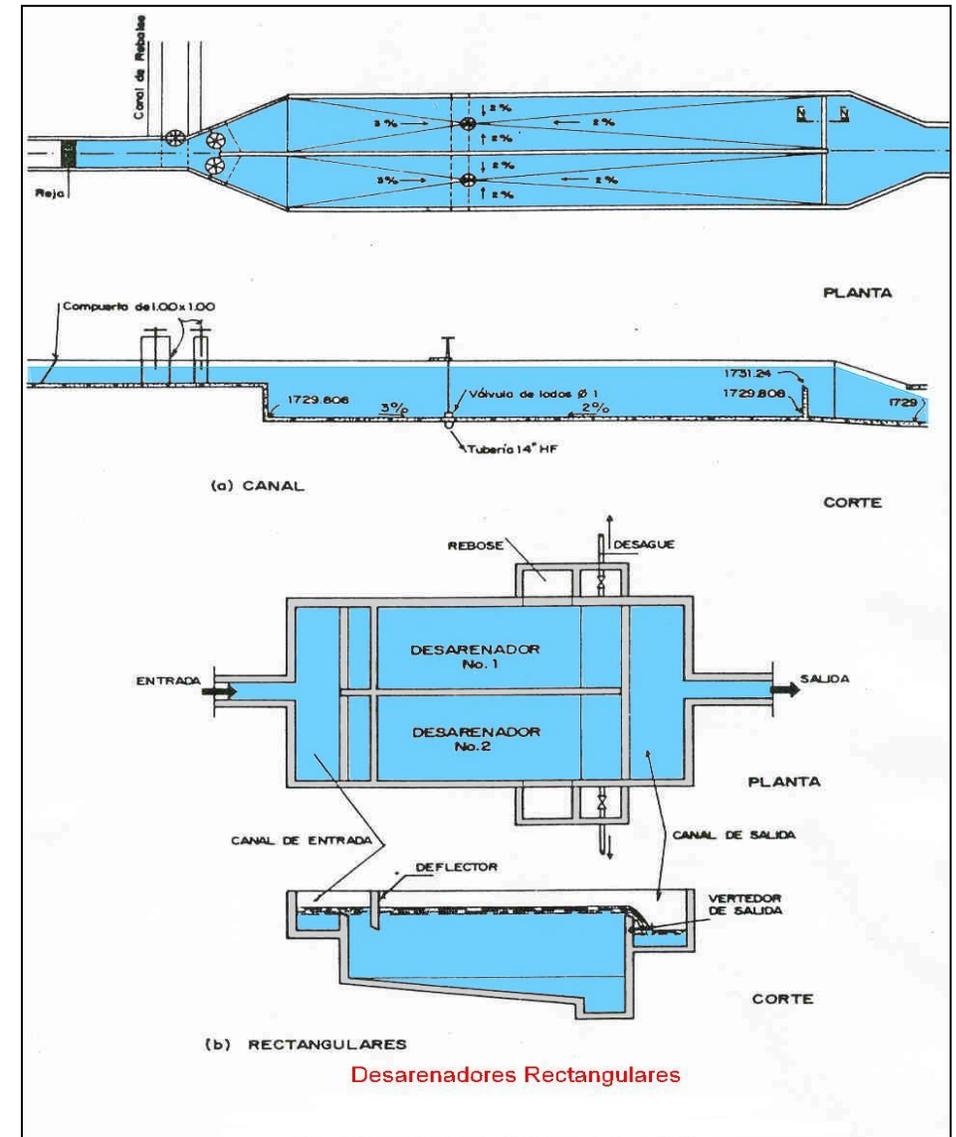
Desarenadores

El desarenador es una estructura hidráulica que tiene como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar.

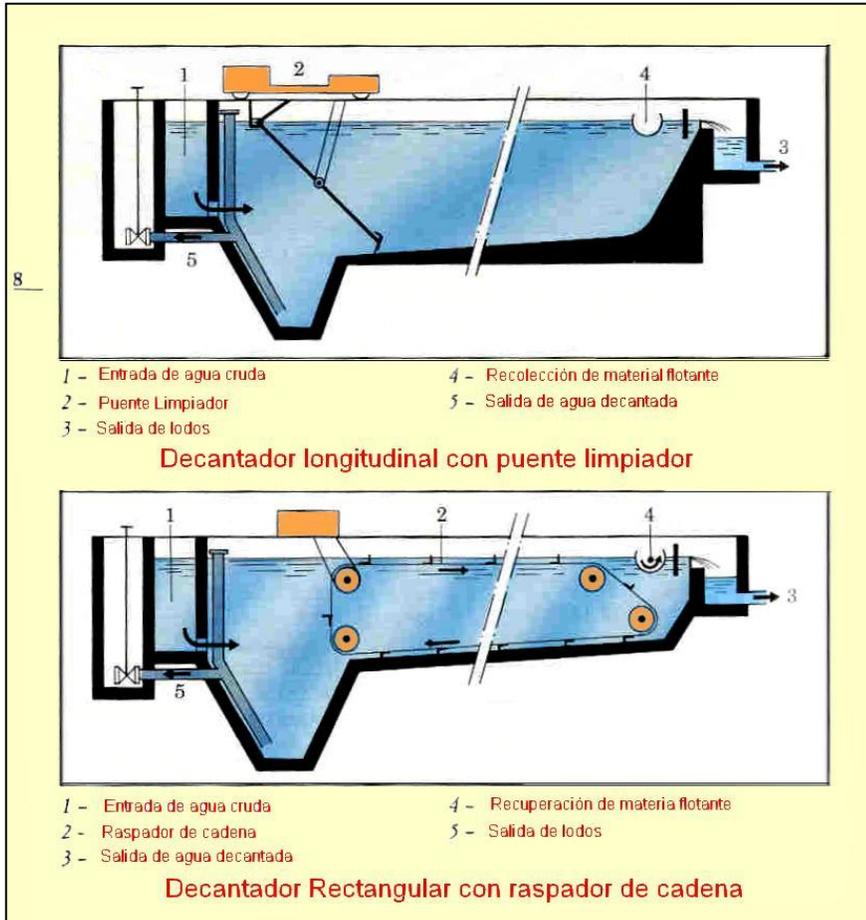
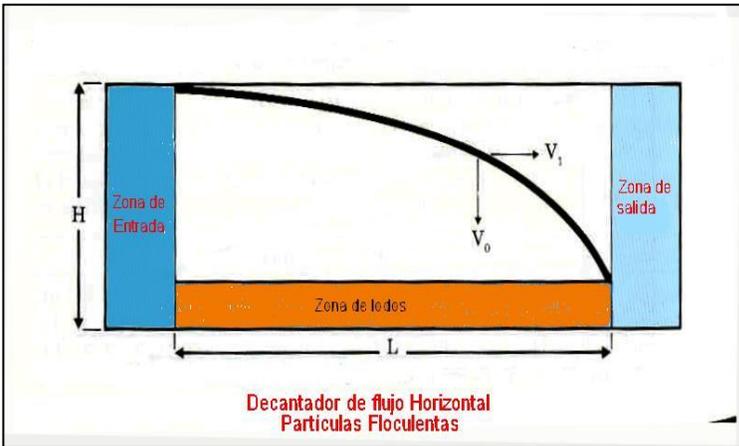
Es una estructura **diseñada para retener la arena generalmente con un diámetro superior a 2.0mm** que traen las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen, a la línea de conducción o a la planta de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas.

Se utiliza en tomas para acueductos, en centrales hidroeléctricas (Pequeñas), plantas de tratamiento y en sistemas industriales.

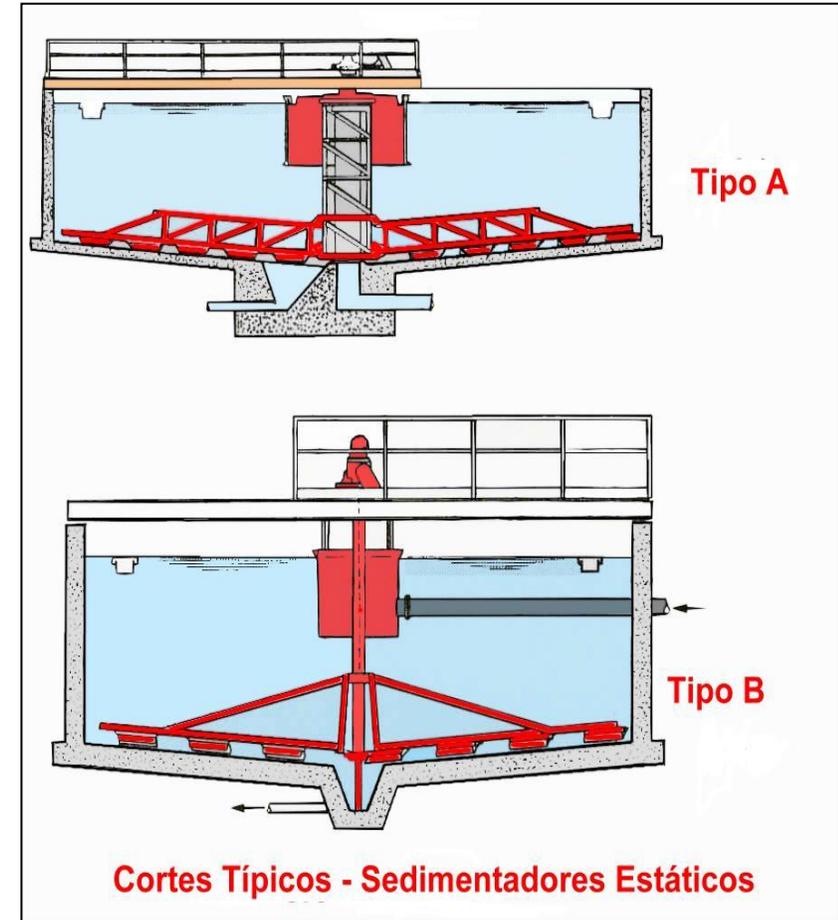
Las partículas se sedimentan por la acción de la gravedad al reducirse la velocidad con que son transportadas por el agua. Son generalmente de forma rectangular y alargada, dependiendo en gran parte de la disponibilidad de espacio y de las características geográficas. La parte esencial de estos es el volumen útil donde ocurre la sedimentación.



Sedimentadores de flujo horizontal y vertical



Sedimentador de flujo horizontal



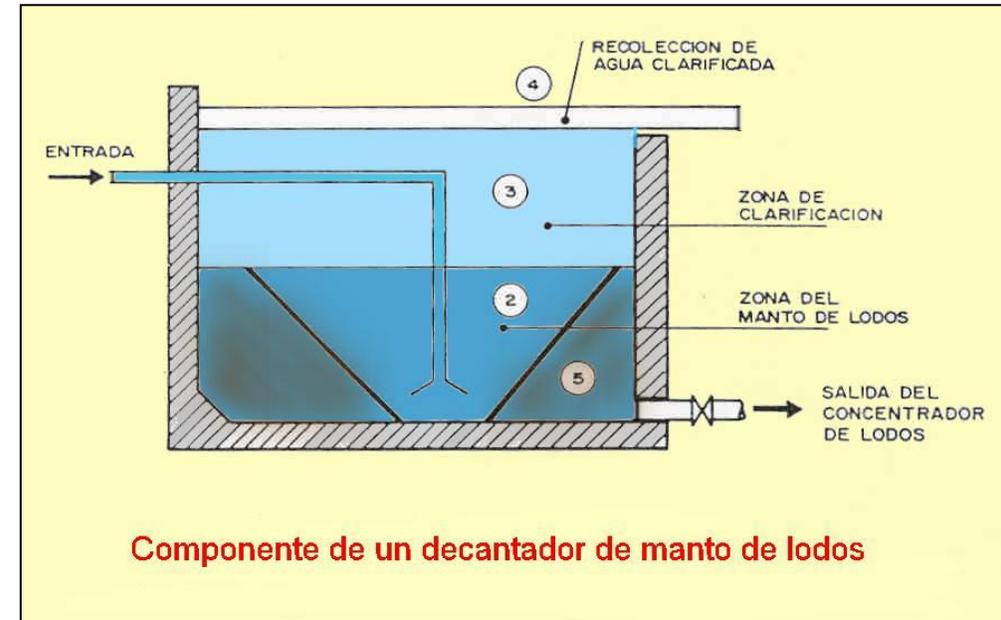
Sedimentador de flujo vertical

Unidades dinámicas

La teoría de decantación interferida se aplica al tratamiento de agua, requiriéndose una alta concentración de partículas o incrementar sus posibilidades de contacto.

Componentes de la unidad

1. Sistema de entrada de agua
2. Zona de formación de manto de lodos
3. Zona de clarificación
4. Zona de recolección de agua clarificada
5. Zona de concentración de fangos



Tipo de Decantadores Dinámicos

Los decantadores de manto de lodos se pueden clasificar de acuerdo a las condiciones y características de la zona de formación de lodos, los que se resumen a continuación:

- ❖ Unidades de manto de lodos con suspensión hidráulica
- ❖ Unidades de manto de lodos con suspensión mecánica
- ❖ Unidades con agitación simple

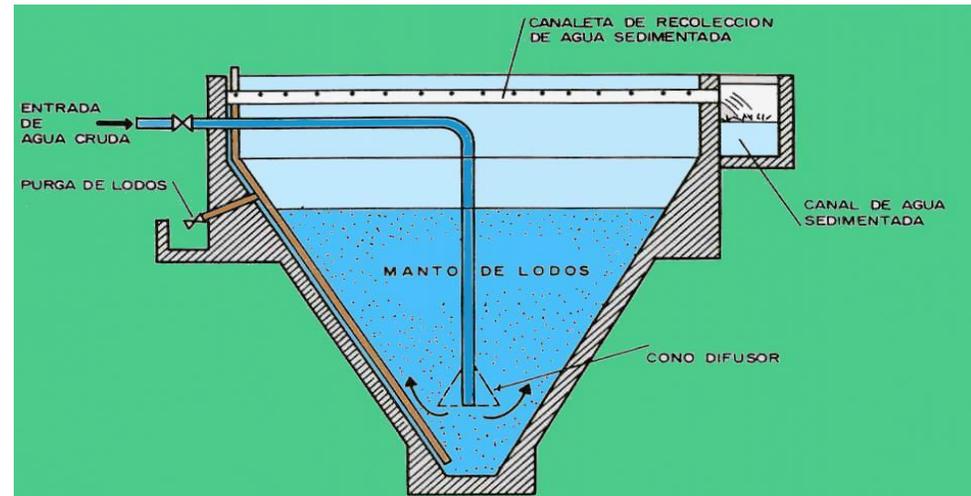
Unidad de manto de lodos con suspensión Hidráulica

Consisten esencialmente en un tanque de fondo cónico o tronco piramidal, en la parte inferior del cual ingresa **el agua cruda que asciende disminuyendo la velocidad a medida que el área aumenta, manteniendo así un manto de lodos hidráulicamente suspendido.**

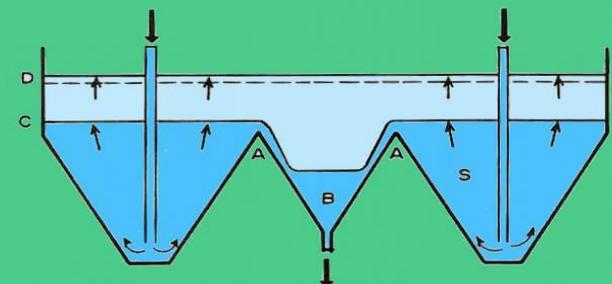
Los fangos se extraen periódicamente por un tubo que baja hasta el fondo, esta extracción puede ser hecha manual o automáticamente

La **ventaja** de estas unidades es que no tienen por lo general:

- ✓ ninguna pieza movable dentro del tanque,
- ✓ no requieren de energía eléctrica para su funcionamiento.



clarificador con fondo Cónico



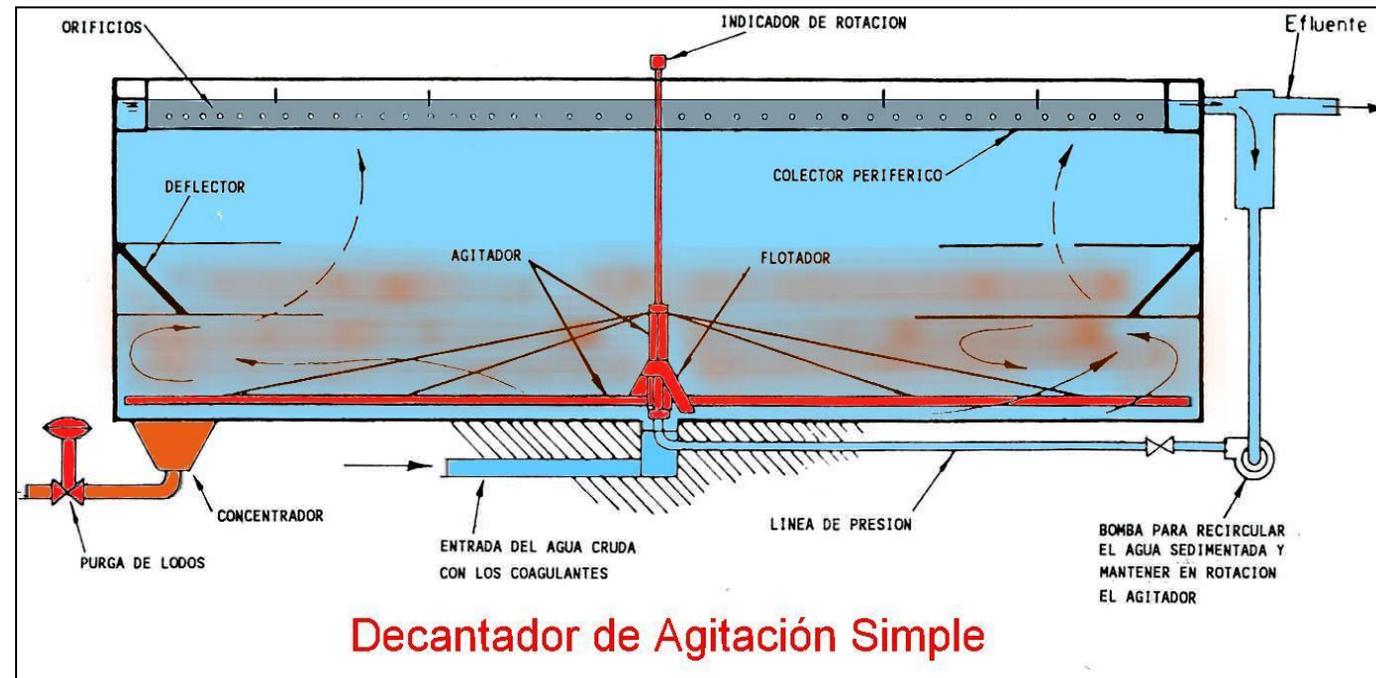
Sedimentador de Bacchus

Unidades con Agitación Simple

Consisten por lo general en tanques circulares, en los cuales el agua es inyectado por bajo de tal forma que se distribuya en el fondo, un agitador mecánico que gira lentamente en el fondo, movido por agua a presión o por un motor, mantiene las partículas en suspensión y recolecta los lodos en un concentrador, de donde son removidos periódicamente.

El agua tiene que ascender hasta las canaletas periféricas superiores, filtrándose en el manto de lodos.

En estas unidades no existe recirculación de lodos

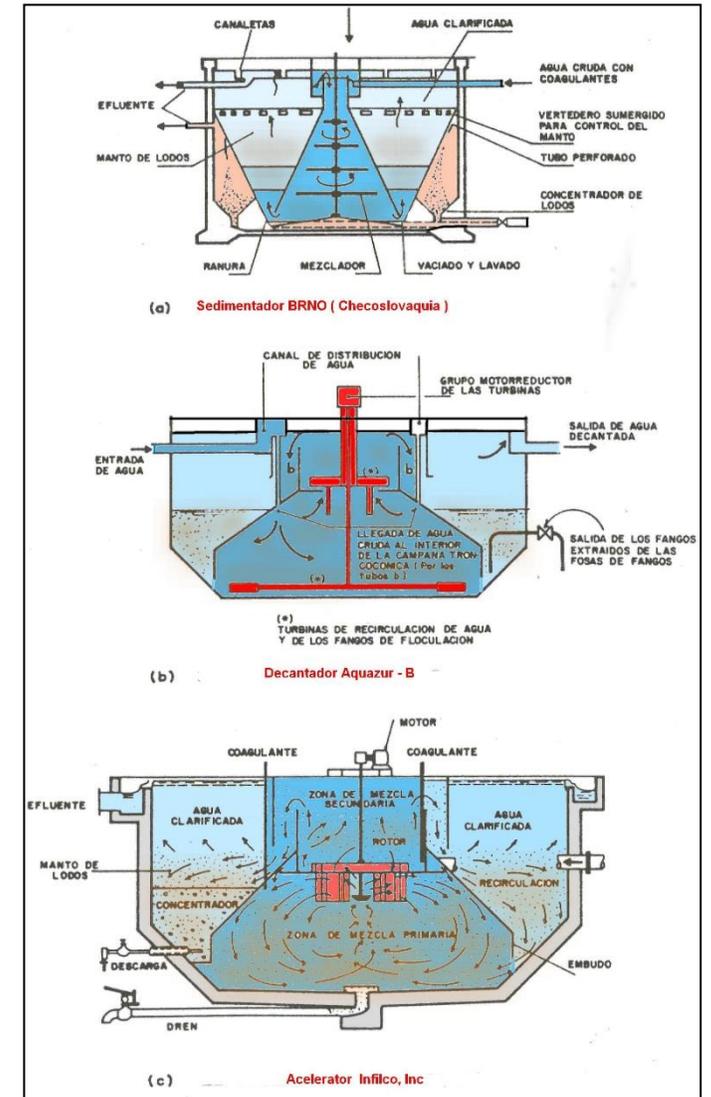


Unidades con separación Dinámica

Las unidades que utilizan separación dinámica, emplean una turbina que gira a alta velocidad, colocada en el centro del tanque, la cual impulsa el flujo de agua hacia abajo a través de un orificio periférico, de forma que las partículas que descienden empujadas por la energía mecánica de la turbina choquen con las que ascienden con el flujo del tanque.

En estos tanques se pueden considerar cuatro Zonas:

- ❖ Zona de Mezcla y reacción en la parte interior donde se mezclan los coagulantes
- ❖ Zona de mezcla lenta y floculación
- ❖ Zona donde se establece el manto de lodos
- ❖ Zona donde el agua clarificada sube hasta las canaletas de salida

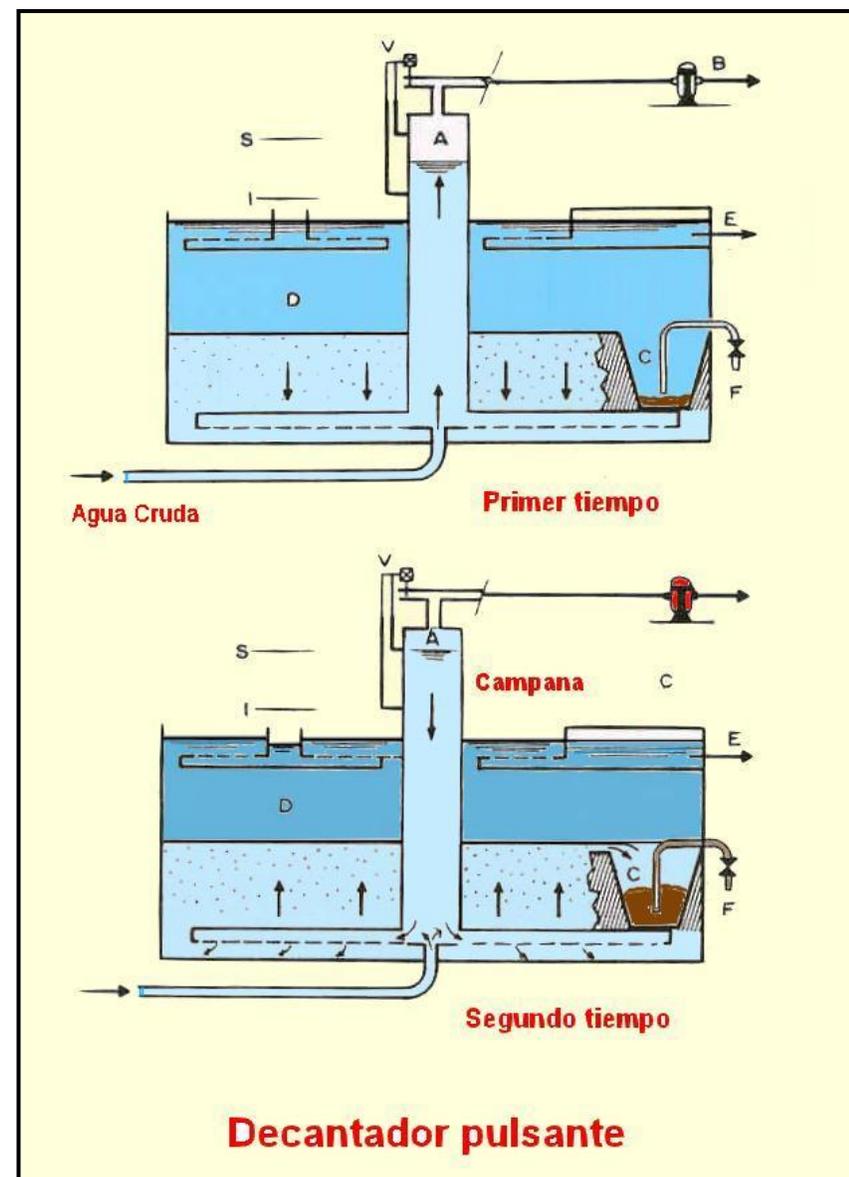


Pulsantes o de vacío

Este tipo de unidades consiste esencialmente en un tanque cuadrado o circular, en cuyo centro se coloca una campana o cápsula de vacío, en la cual periódicamente se disminuye la presión interna con una bomba especial, de modo que el agua ascienda por la campana, hasta un cierto nivel y luego se **descargue en el tanque produciendo expansión de los lodos y botando el exceso de los mismos a los concentradores**.

Esta periódica expansión y contracción del manto se usa para homogenizarlo, evitando las grietas o canales que permitan el paso directo de la turbiedad y la sedimentación de las partículas más pesadas en el fondo.

Los fangos depositados en el concentrador se extraen por medio de válvulas automáticas



Decantación Laminares

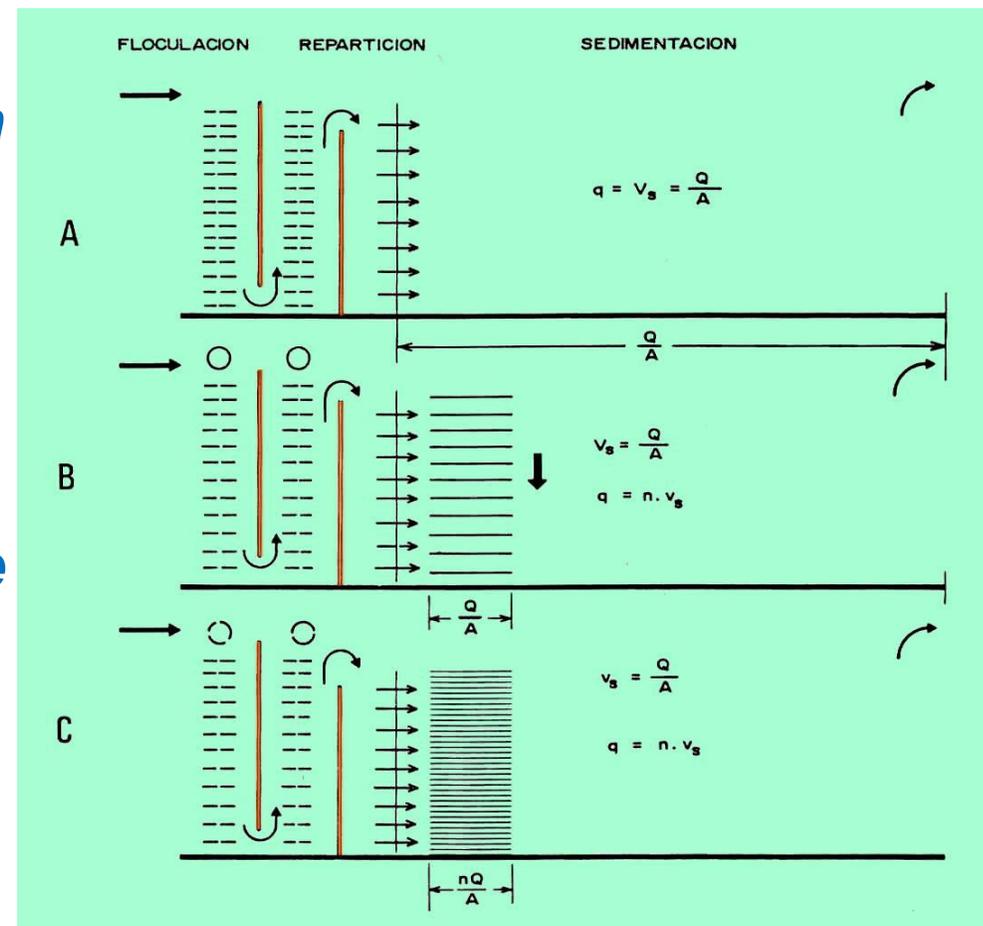
Los términos **sedimentación de alta tasa o sedimentación acelerada** son sinónimos y hacen referencia a sedimentadores poco profundos, formados por una serie de tubos circulares o cuadrados, ortogonales o sucesión de laminas paralelas sean estas planas u onduladas, entre las cuales **circula el agua con flujo laminar**.

Los efectos que favorecen a la remoción de partículas son:

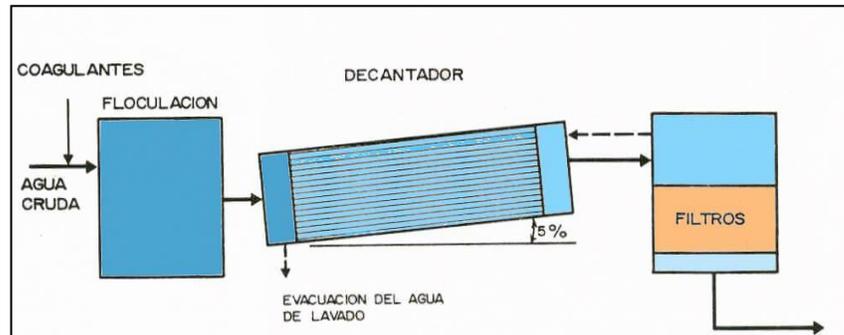
- Aumento del área superficial
- Menor altura de caída de la partícula
- Régimen de flujo laminar

De acuerdo a la dirección del flujo se pueden clasificar en:

- De flujo Horizontal
- De flujo Inclinado
- De flujo ascendente

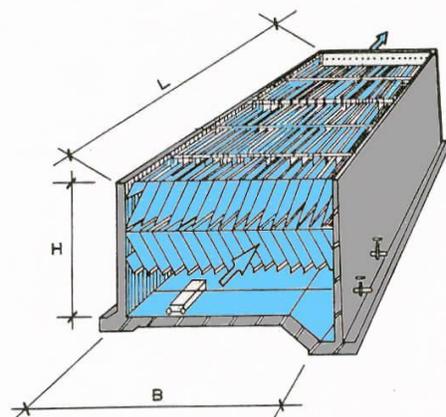


Decantadores laminares

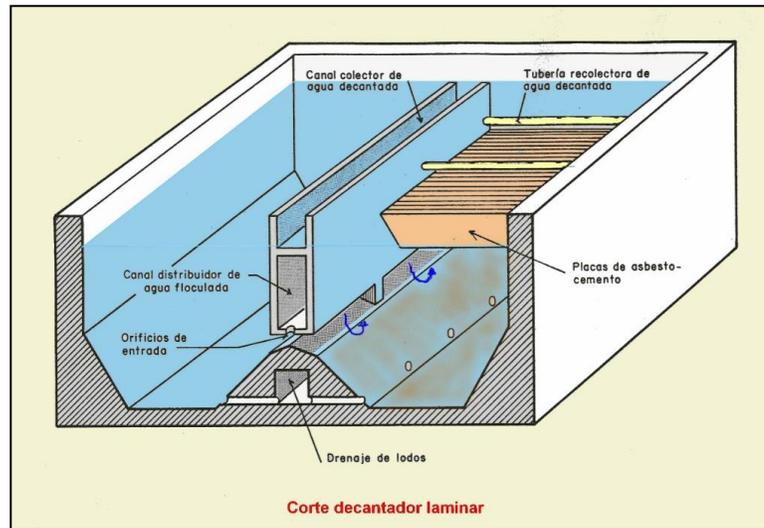


Láminas horizontales

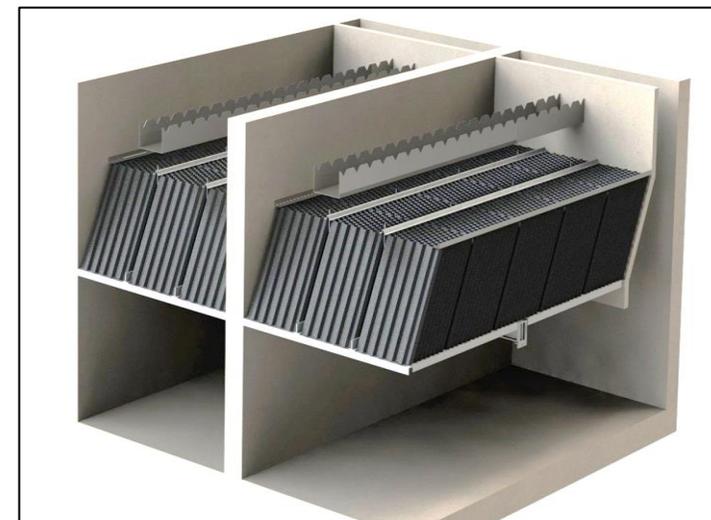
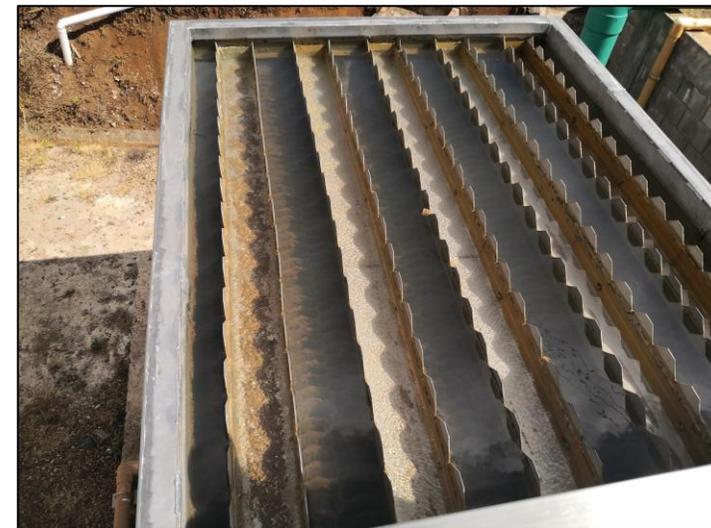
Láminas Inclinadas



Decantadores Laminares de flujo horizontal



Corte decantador laminar



Lavado del Decantador

Se realiza por dos motivos:

- a) **cuando la tolva de almacenamiento de lodo se llena**, ocurre cuando el agua presenta alta turbidez y se produce gran cantidad de lodo;
- b) **cuando comienza la fermentación del lodo almacenado**, se produce cuando el tratamiento es discontinuo o el agua cruda está clara y se forma poco lodo. En este caso, la fermentación se inicia antes de que el lodo llene las tolvas.

Se sabe que hay **fermentación cuando aparecen unas pequeñas burbujas de gas en su superficie**. Si el operador observa este fenómeno y la fermentación continúa, se debe proceder a lavar el decantador, con agua a presión mediante una manguera. Caso contrario **se van a producir sabor y olor desagradables, además, van a aparecer grandes placas de lodo** en la zona de decantación.

Algunas veces, en las paredes del decantador y en los canales, tanto de entrada como de salida, se forman **incrustaciones de algas y de lodo**, que dan un mal aspecto y pueden llegar a los filtros e impedir su buen funcionamiento. Cuando esto sucede, se debe realizar una limpieza para retirarlas.

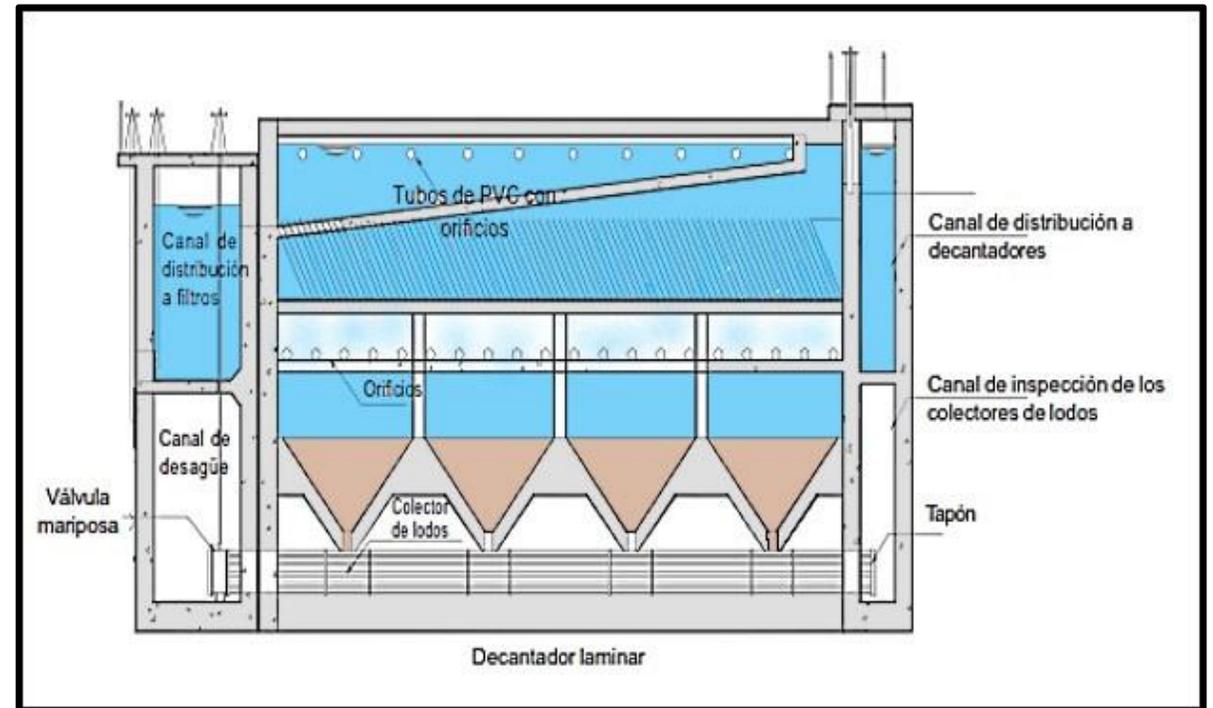
Procedimiento de lavado del decantador

Los decantadores de placas **están provistos de sistemas hidráulicos de extracción de lodos** . Por esta razón, las tolvas de almacenamiento no son tan grandes como en el caso de las unidades convencionales. Durante el lavado se procederá de la siguiente manera:

- ✓ cerrar la compuerta de ingreso de agua floculada;
- ✓ abrir las válvulas de los colectores o canales de extracción de lodo;
- ✓ observar que el nivel del agua sobre las placas baje **30** cm, y
- ✓ cerrar la válvula de lodo y abrir la compuerta de entrada.

En época de lluvias, pueden operar sin interrupciones y efectuar descargas de lodo cada cuatro horas.

En época de seca, esta operación se efectuará cada semana y en climas cálidos, como mínimo, cada tres días, para evitar la descomposición del lodo.



Como lograr una buena decantación

La decantación **es una operación de preparación del agua para la filtración**. Cuanto mejor sea la decantación, más eficiente será la filtración.

Consecuentemente, para tener una buena decantación, se deben tomar las siguientes precauciones:

- correcta aplicación de coagulantes al pH óptimo (incluye la aplicación de alcalinizante, en caso de que sea necesario);
- mezcla rápida eficaz;
- mezcla lenta suficiente para producir buenos flóculos, grandes y pesados;
- limpieza rutinaria de los decantadores.

Cuando la flora acuática es relativamente grande (algas), **se recomienda pintar las paredes de los decantadores con caldo bordelés**.

Operación: lave bien las paredes con cepillo. Deje secar y pinte con caldo bordelés y con ayuda de pinceles o pulverizadores.

No llenar el decantador hasta que la pintura esté bien seca.

Preparación de caldo bordelés:

- a) disuelva **1** kilo de sulfato de cobre en **50** litros de agua;
- b) añada **500** gramos de cal a otros **50** litros de agua;
- c) añada gotas del indicador fenolftaleína a una muestra de la mezcla (a + b). Debe dar la coloración característica de alta alcalinidad; de no ser así, agregue más preparado (b). Pinte las paredes con caldo bordelés.

Cantidad

Se debe considerar que la cantidad de caldo bordelés que se necesita para la pintura de un decantador debe ser tal que al llenar el decantador, considerando que toda la pintura esté disuelta, la dosis de sulfato de cobre en el agua, no sea superior a **1** miligramo por litro (g/m^3) de CuSO_4 .

Control de proceso de decantación

Para ahorrar agua en el lavado de los filtros, es importante que el agua decantada que ingrese a estas unidades sea de la mejor calidad posible, para que las carreras de operación de los filtros sean largas. En ese caso, se debe considerar lo siguiente:

- el agua decantada debe tener un color bajo, de **5** a **10** UC como máximo.
- la turbidez debe ser baja; idealmente, no mayor de **2** UNT. El decantador debe remover por lo menos **90%** de la turbidez del agua cruda.

$$\frac{(\text{turbidez del agua cruda} - \text{turbidez del agua decantada}) \times 100}{\text{turbidez del agua coagulada}} \cong 90\%$$

Una turbidez o color elevado puede significar que la decantación no es eficaz debido a alguna de las siguientes razones:

- dosis de coagulante inadecuada;
- pH óptimo de coagulación erróneo;
- problemas de diseño o de mantenimiento del floculador, y
- decantadores sucios.

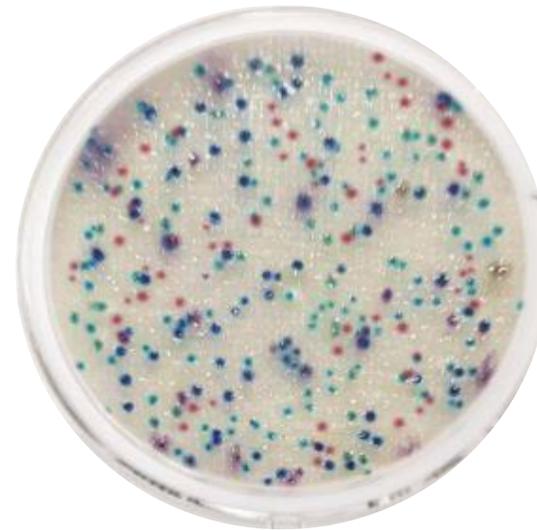
Control de proceso de decantación, continuación

La determinación del oxígeno consumido también es un óptimo proceso de control de la eficiencia de la decantación, que se puede comparar con la del agua cruda. El porcentaje de reducción debe ser el siguiente:

$$\frac{(O_2 \text{ consumido del agua cruda} - O_2 \text{ consumido del agua decantada}) \times 100}{O_2 \text{ consumido del agua cruda}} > 50\%$$

Cuando el lodo entra en fermentación, el O_2 consumido aumenta (el porcentaje de reducción disminuye).

La comparación de conteo de colonias en placas Petri de agar patrón (agua cruda y agua decantada) también constituye un proceso de control de la decantación.



Filtración Rápida

Consiste en la **remoción de las partículas que no fueron eliminadas en el proceso de decantación**, al hacer pasar el agua a través de un medio poroso.

En general es la operación final que se realiza en una planta de potabilización y por consiguiente, es la **responsable de la producción de agua de tal calidad que cumpla con la normativa vigente.**

Es el resultado de dos mecanismos

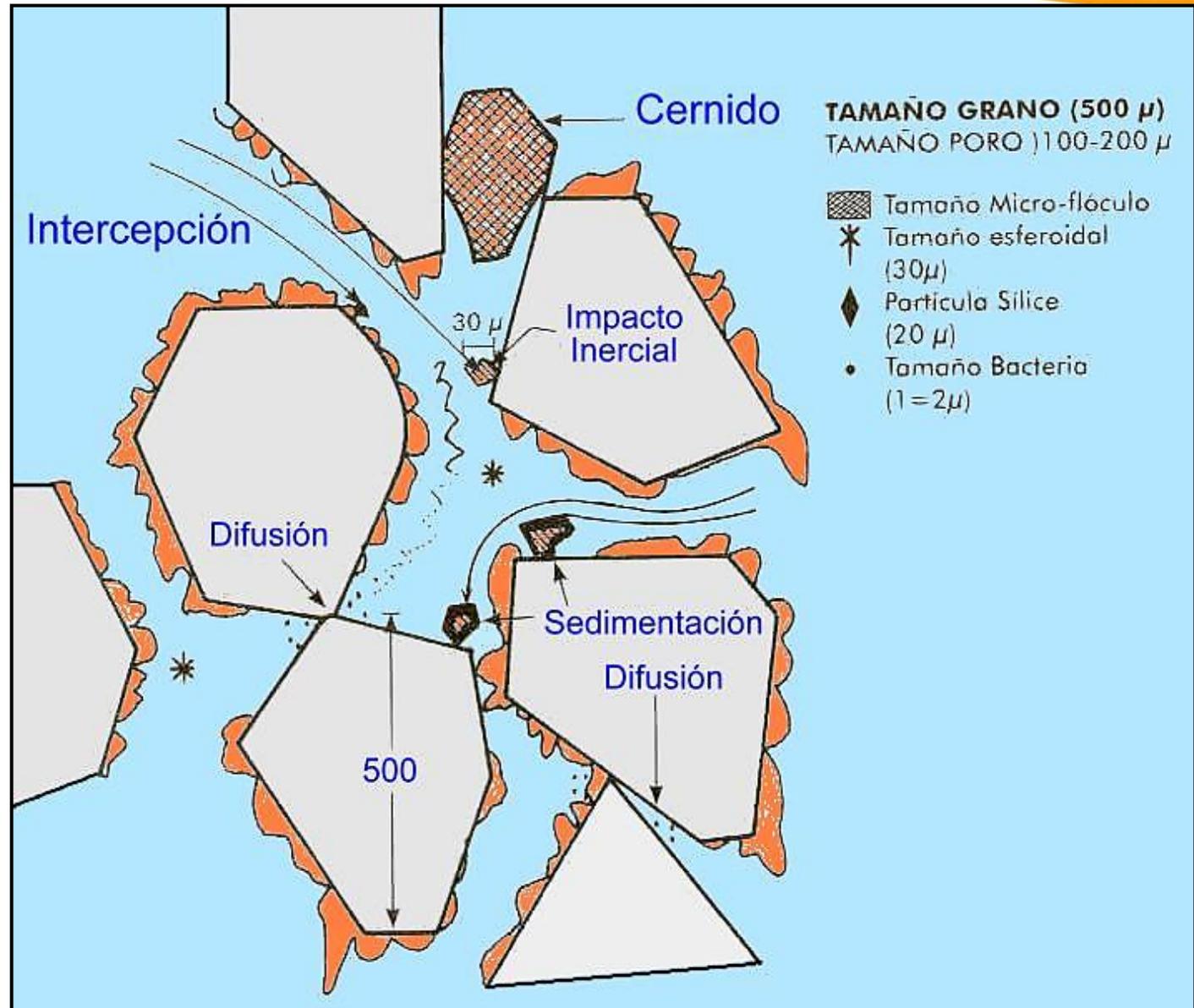
Transporte

- Impacto Inercial
- Intercepción
- Sedimentación
- Difusión
- Acción hidrodinámica

Adherencia

- Fuerzas electrostáticas y de Van Der Waals
- Puente Químico

Mecanismos que producen el transporte de las partículas en el medio filtrante



Factores que influyen en la filtración

Características de la suspensión

- Tipo de partícula suspendida
- Tamaño de la partícula
- Densidad de las partículas
- Resistencia de los flóculos
- Temperatura del agua
- Concentración de las partículas
- Potencial Zeta
- Ph del afluente

Características del medio Filtrante

- Tipo de medio filtrante
- Características del medio filtrante
- Espesor de las capas filtrantes

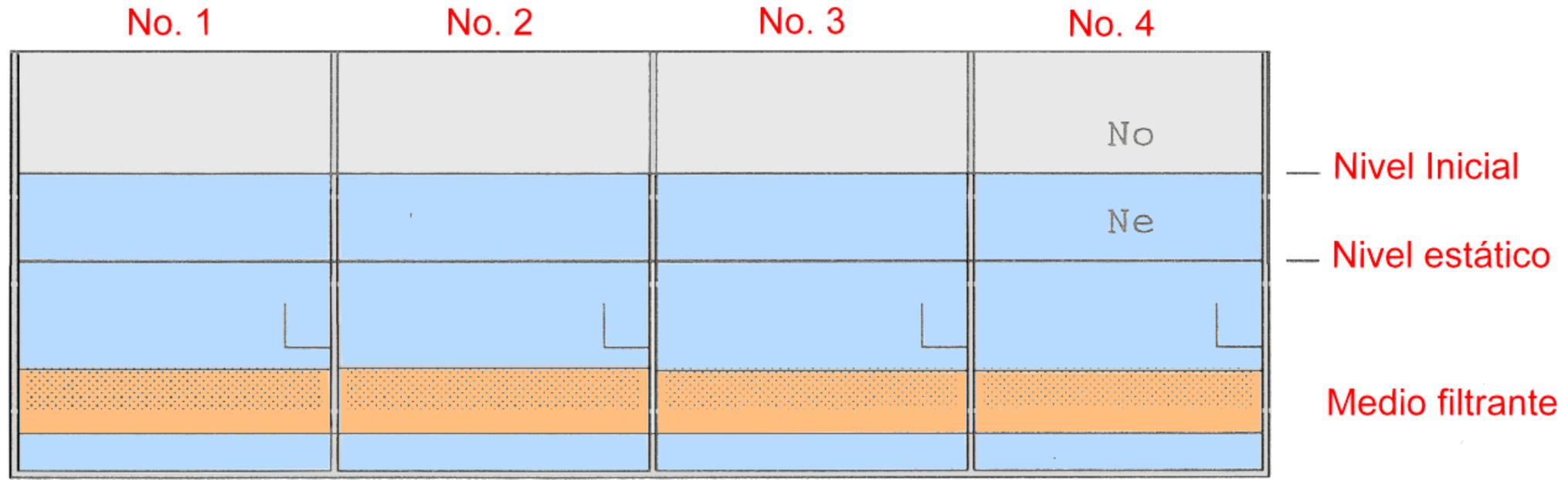
Características Hidráulicas

- Tasa de filtración
- Carga hidráulica disponible
- Calidad del efluente

Procedimiento para instalar la tasa declinante

Al iniciar la operación de una potabilizadora, todos los filtros se encuentran igualados en cuanto a la pérdida de carga debido a que todos están limpios, en este caso el nivel que alcanza el agua dentro de los filtros se le denomina “**Nivel Cero**” (**No**) y si la planta esta sin operar se denomina Nivel Estático (Ne).

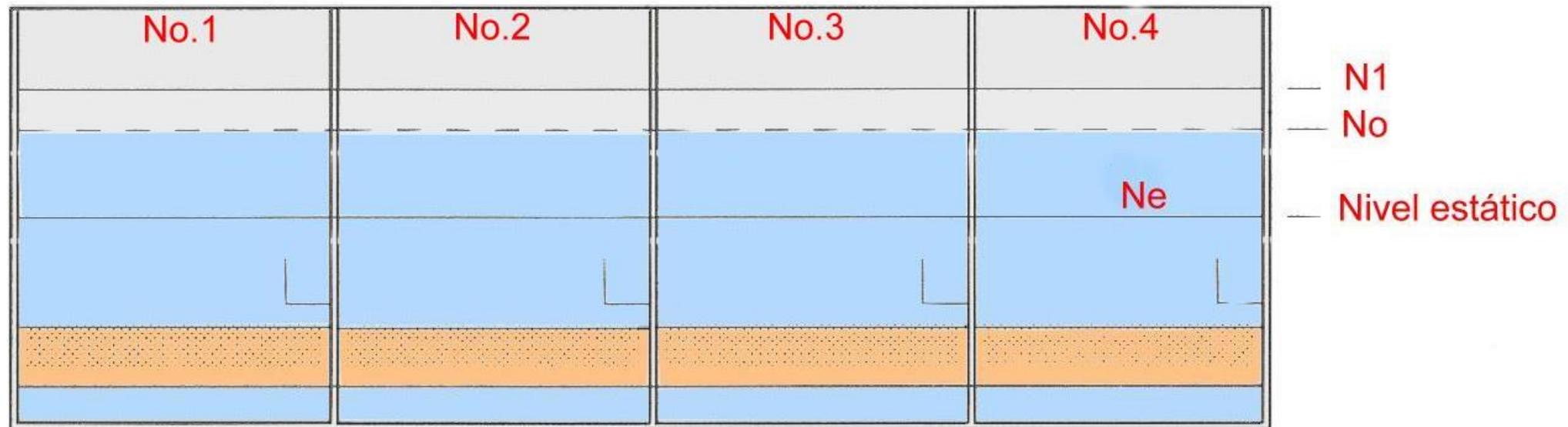
Nivel estático e inicial (Ne y No)



Procedimiento para instalar la tasa declinante

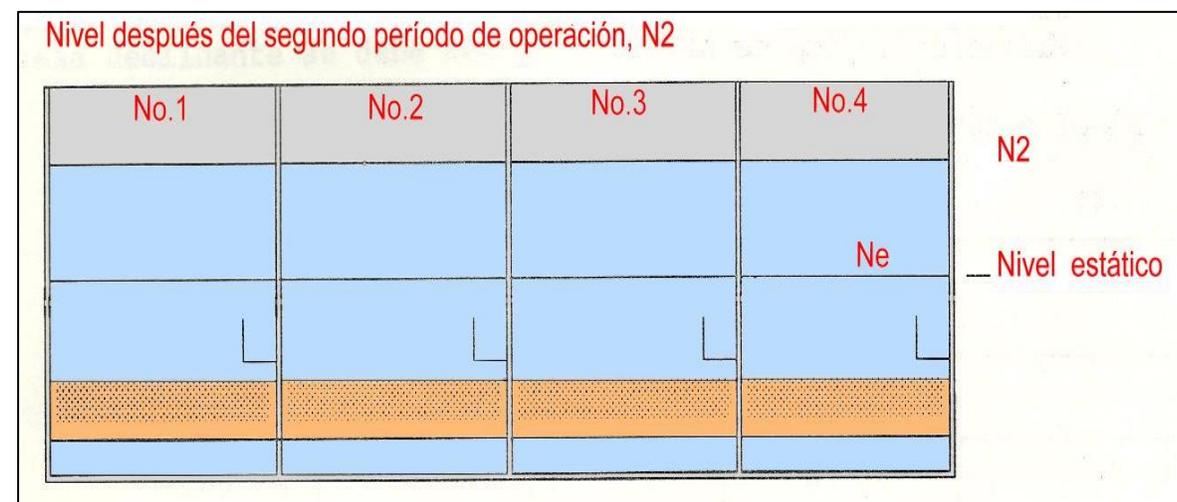
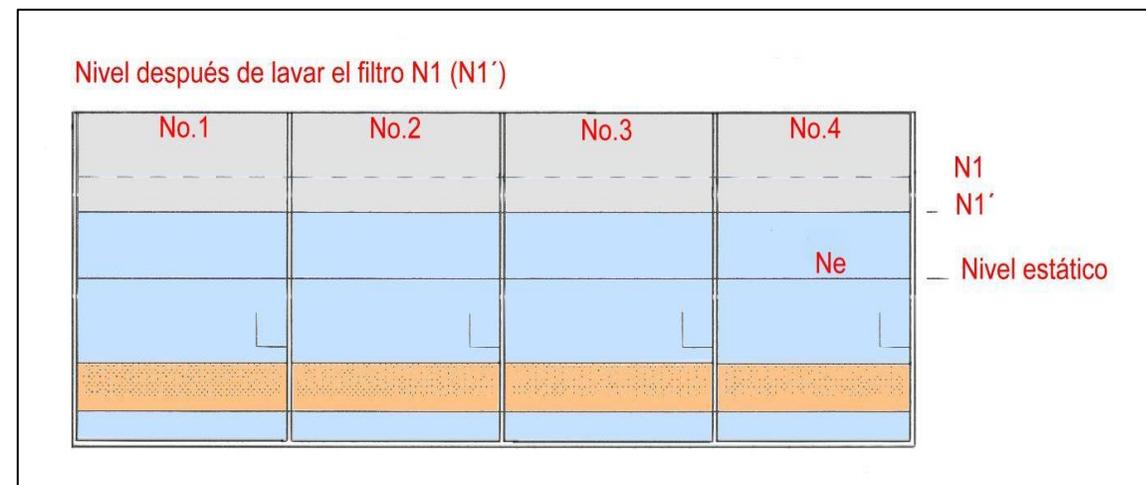
- a. Mantener en operación todos los filtros por un período de tiempo igual a la mínima carrera de filtración (normalmente varía entre **24** y 48 horas) dividida por el número de filtros, por ejemplo, si tomamos una carrera de filtración igual a 24 horas y tenemos **4** cuatro filtros, el tiempo resultante será de **6** horas. Al alcanzar este tiempo el nivel alcanzado dentro del filtro será identificado por “**Nivel Uno**”(N1).

Nivel después del período inicial de operación (N1)



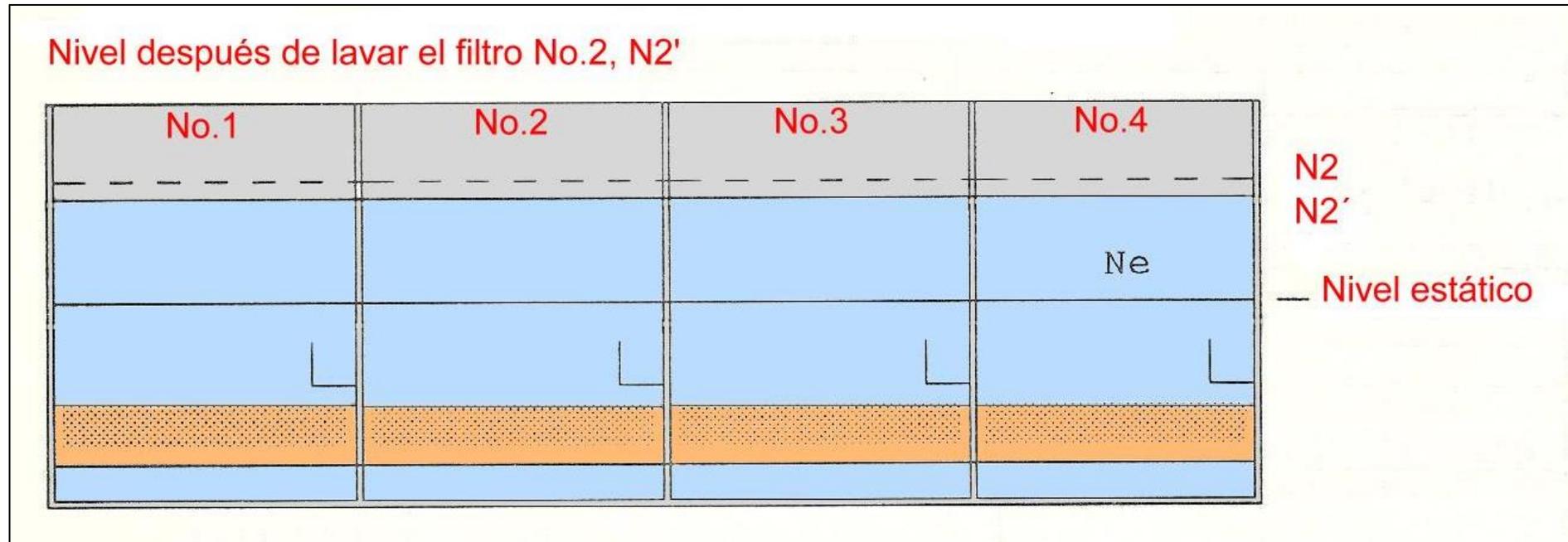
Procedimiento para instalar la tasa declinante

- b. Después de alcanzar el tiempo establecido (en este caso **6** horas) lavar el filtro **No. 1**, con lo cual se produce una reducción de la pérdida de carga de este filtro, consecuentemente ocurre un descenso de nivel al valor **N1'** y **el filtro pasa a operar con la tasa máxima de operación por encontrarse limpio.**
- c. Mantener la batería de filtros en operación por el mismo período de tiempo(6 horas), cuando los filtros alcanzaran el nivel **N2**.



Procedimiento para instalar la tasa declinante

d. Lavar el filtro **N2**, el nivel del agua en la batería descenderá al nivel **N2'**



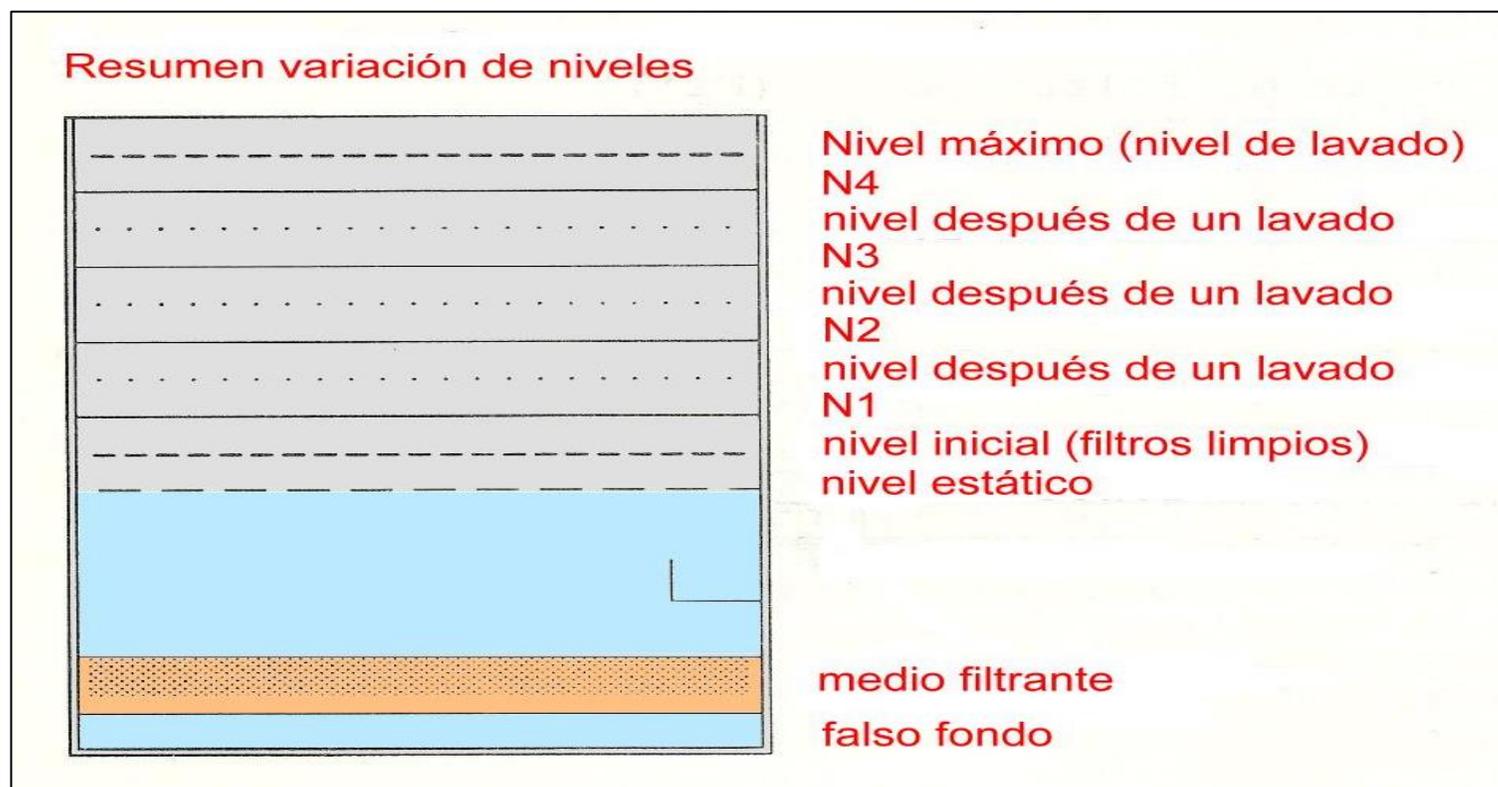
e. Repetir lo indicado en c. y d. para los filtros restantes de manera que se alcancen los niveles siguientes:

N3 y N3' para el filtro No. 3

N4 y N4' para el filtro No. 4

Procedimiento para instalar la tasa declinante

- f. Al alcanzar el nivel **N4'** luego del último lavado el sistema ya se encuentra operando a tasa **declinante**, el siguiente lavado que corresponderá al filtro **No. 1** se efectúa cuando se alcance el nivel máximo de operación en la batería filtrante y así sucesivamente. **Este nivel deberá indicarse físicamente en la caja del filtro por medio de una línea, en el lugar indicado por el diseñador.**



- g. Revisar la calidad bacteriológica y Físico-Química del agua.

Procedimiento para funcionar con tasa declinante

Al inicio todos los filtros se encuentran igualados en cuanto a su pérdida de carga debido a que todos se encuentran limpios, para operar con tasa declinante debe precederse de la siguiente manera:

- a) Operar todos los filtros por un período de **24** horas **dividido por el numero de filtros(NF)**, al alcanzar este tiempo , el nivel de agua habrá alcanzado el valor de **N1**
- b) Lavar el filtro **No1** con lo cual se produce un descenso de nivel al valor **N1'** por la reducción de la pérdida de carga en ese filtro el cual pasa a operar con la tasa máxima de filtración al encontrarse limpio
- c) Mantener la batería de filtros en operación por un tiempo igual a **24/NF**, los filtros alcanzaran el nivel **N2**
- d) Lavar el filtro **No2**, el nivel de agua en la batería descenderá al valor **N2'**
- e) Repetir lo indicado en c. y d. Para los filtros restantes de manera que al final se alcance el nivel, **NNF** y **NNF'** para el filtro No **NF**
- f) Al alcanzar el nivel **NNF'** ***luego del último lavado, el sistema ya se encuentra en tasa declinante y el siguiente lavado del filtro No1 se efectuará no a un tiempo determinado sino hasta que se alcance el nivel máximo de operación*** en la batería filtrante y así sucesivamente. **El nivel de lavado debe indicarse físicamente en la caja del filtro pintando una línea en el lugar indicado en el diseño**
- g) Revisar que la calidad del agua cumpla con la normativa vigente

Funcionamiento de los filtros

Al inicio de la filtración, como la arena está expandida, **el agua arrastra parte del material en suspensión y el filtrado no es de buena calidad.**

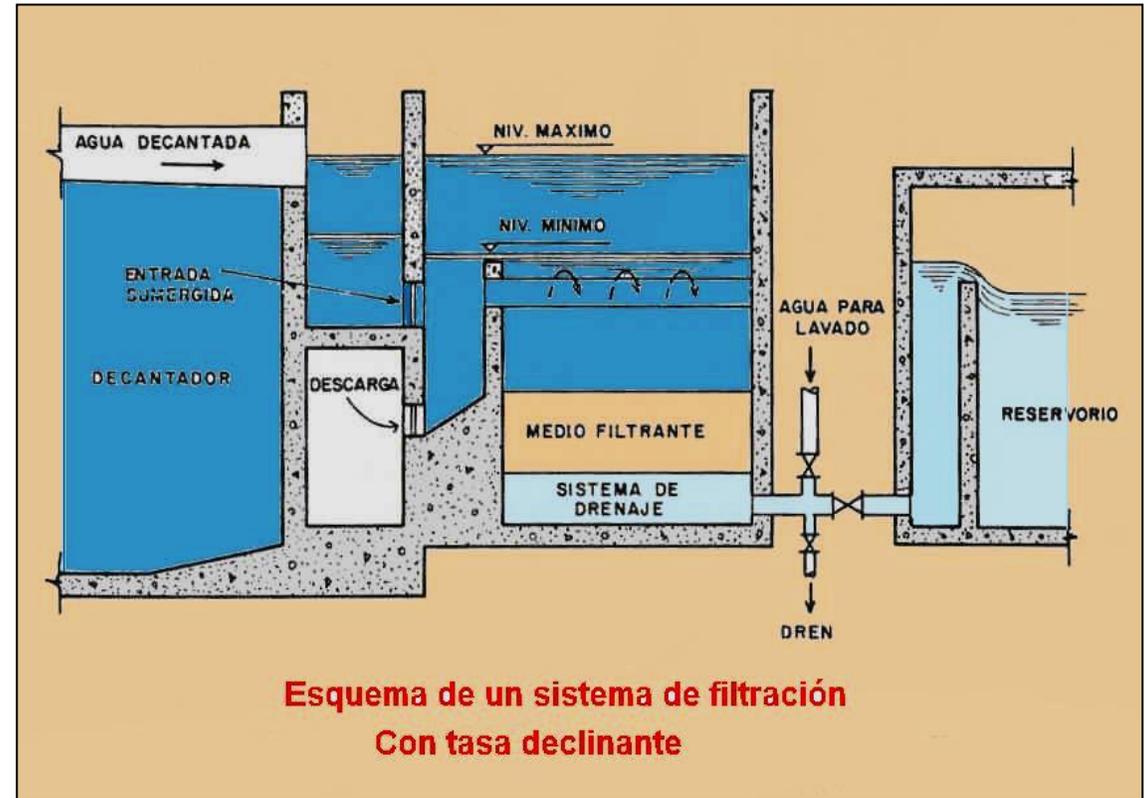
Los materiales en suspensión en el agua, que son más grandes que los espacios intergranulares de la arena, quedan retenidos en la superficie filtrante. Los que son más pequeños se van adhiriendo a la superficie interna de los granos y, de esa manera, disminuyen los espacios por donde pasa el agua. Así, **a medida que el filtro se ensucia, hay una mayor resistencia al paso del agua.**

El aumento de resistencia al paso del agua por la arena corresponde a una reducción del caudal del filtro. Cuando el filtro está limpio, es posible filtrar un volumen de agua mayor (tasa: 120 m³/m²/día); a medida que el filtro se obstruye por la suciedad (lo que se denomina colmatación), la tasa disminuye.

Para evitar que esto suceda, **los filtros de tasa y nivel constante están provistos de un aparato controlador de caudal que mantiene la tasa de filtración constante** de 120 m³/m²/día (desde el inicio de la filtración hasta el momento del lavado del filtro). En los **filtros de tasa declinante y nivel variable no se controla el caudal de operación del filtro** sino que se deja que cada filtro tome buenamente lo que su estado de colmatación le permita.

Componentes más importantes de un filtro

- Sistema de entrada de agua
- Medio filtrante
 - De un solo medio
 - De medio doble o triple
- Caja del filtro
- Sistema de salida de agua filtrada
- Falso Fondo (sistema de drenaje)
- Lavado superficial
- Retrolavado
 - Con agua
 - Con agua y aire
- Sistema de control



Clasificación de las unidades de filtración rápida

Filtración por Gravedad

Filtración Descendente

Filtración Ascendente

Filtración Ascendente y Descendente

Filtración Descendente

Tasa Constante

Tasa declinante

Filtración a Presión

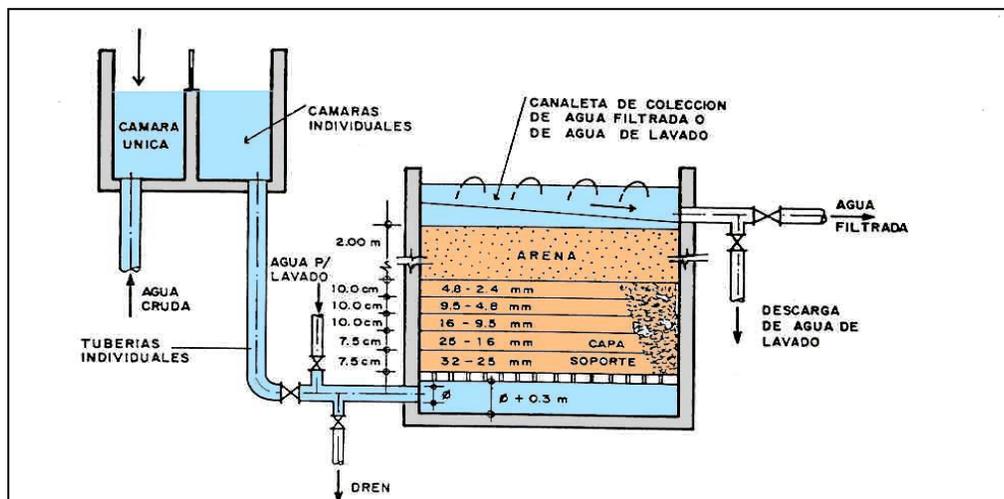
Ascendente

Descendente

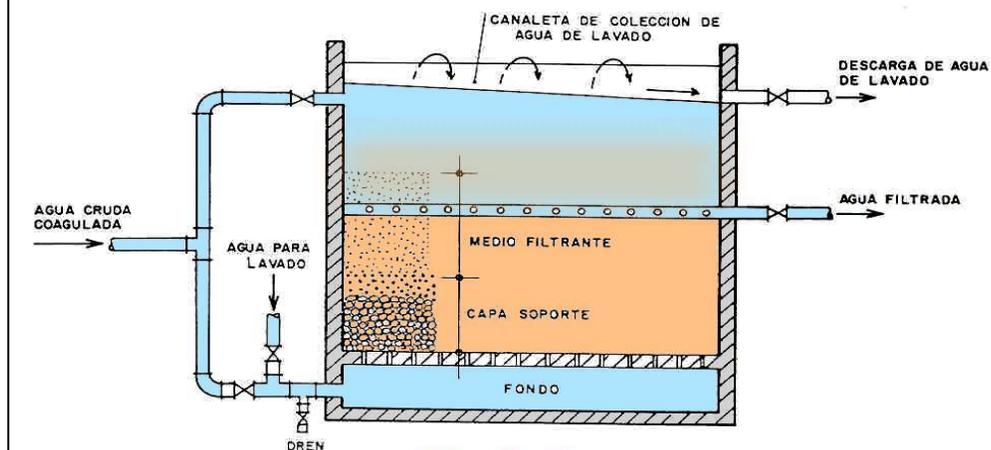
Ascendente y Descendente

(Bi-flow y superfiltro)

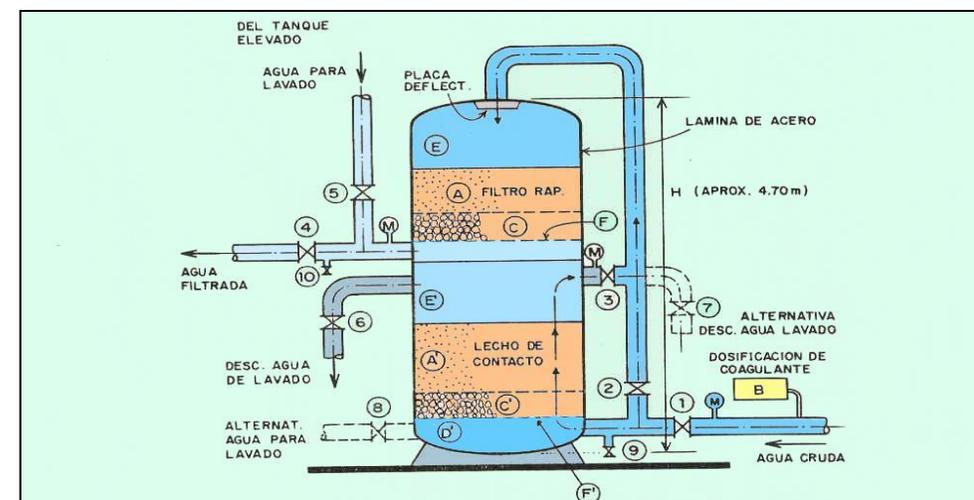
Tipos de filtros



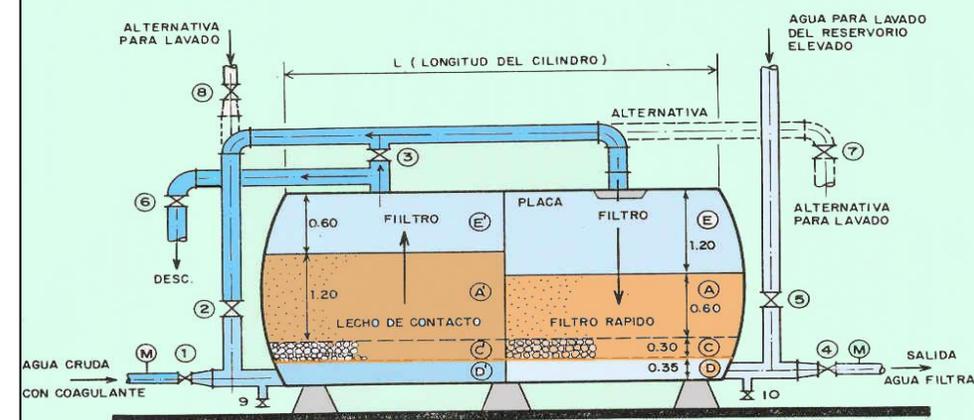
Filtro de flujo Ascendente



Filtro Bi - Flow



FILTRO ASCENDENTE -DESCENDENTE, VERTICAL



FILTRACION ASCENDENTE - DESCENDENTE A PRESION

Filtro de Lavado en continuo

El Filtro DynaSand Funcionamiento

El filtro DynaSand trabaja según el principio de contracorriente. El agua a depurar se conduce al distribuidor de entrada (1) en la parte inferior del equipo. Desde allí asciende por el lecho de arena, se filtra y sale por el tubo (2) en la parte superior. Las impurezas son interceptadas por el lecho de arena. Una bomba de emulsión (4) transporta la arena sucia desde el fondo cónico (3) hasta la sección de lavado en la parte superior del filtro (5). El lavado de la arena propiamente dicho ya empieza en la bomba de emulsión, cuyo vigoroso efecto de agitación libera las partículas de suciedad. La arena sucia sale por la boca de la bomba y cae en el laberinto de lavado (6), donde se lava con una pequeña parte del agua filtrada. Las impurezas son arrastradas hasta la desembocadura del agua de lavado (7). Los granos de arena, que son más pesados que las impurezas, descienden hasta el lecho de arena (8), que por tanto está en movimiento permanente hacia el fondo del filtro.

Se trata de un proceso continuo de depuración del agua y de lavado del filtro. En consecuencia, éste nunca deja de suministrar agua tratada al no precisar paradas de lavado.



El DynaSand trabaja continuamente. La depuración del agua y lavado de la arena del filtro se realiza sin interrupciones. La necesidad de supervisión es mínima.

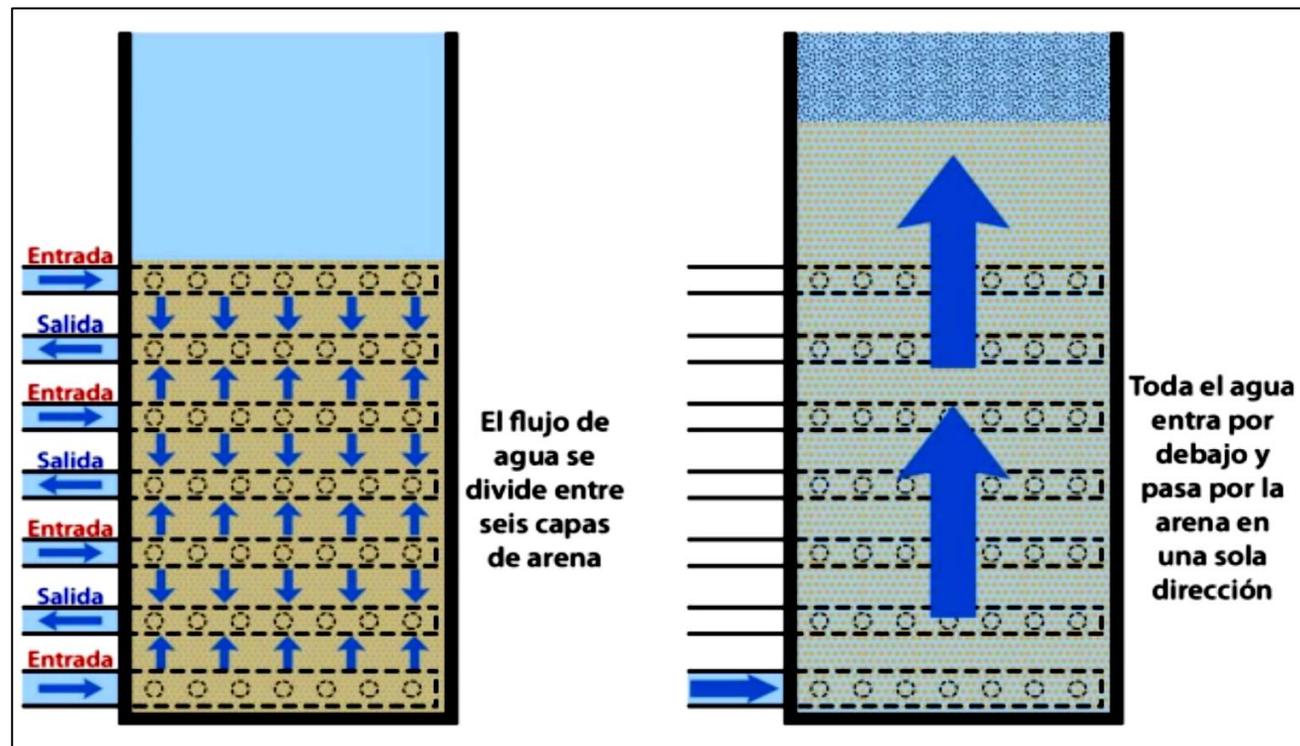
Filtro FRAMCA

En vez de pasar agua en una sola dirección, el FRAMCA *inyecta el agua a cuatro niveles distintos y la recolecta de tres puntos entre ellos*, de tal manera que *se divide el flujo entre seis capas de arena*. Esta configuración permite el retrolavado sin bombas.

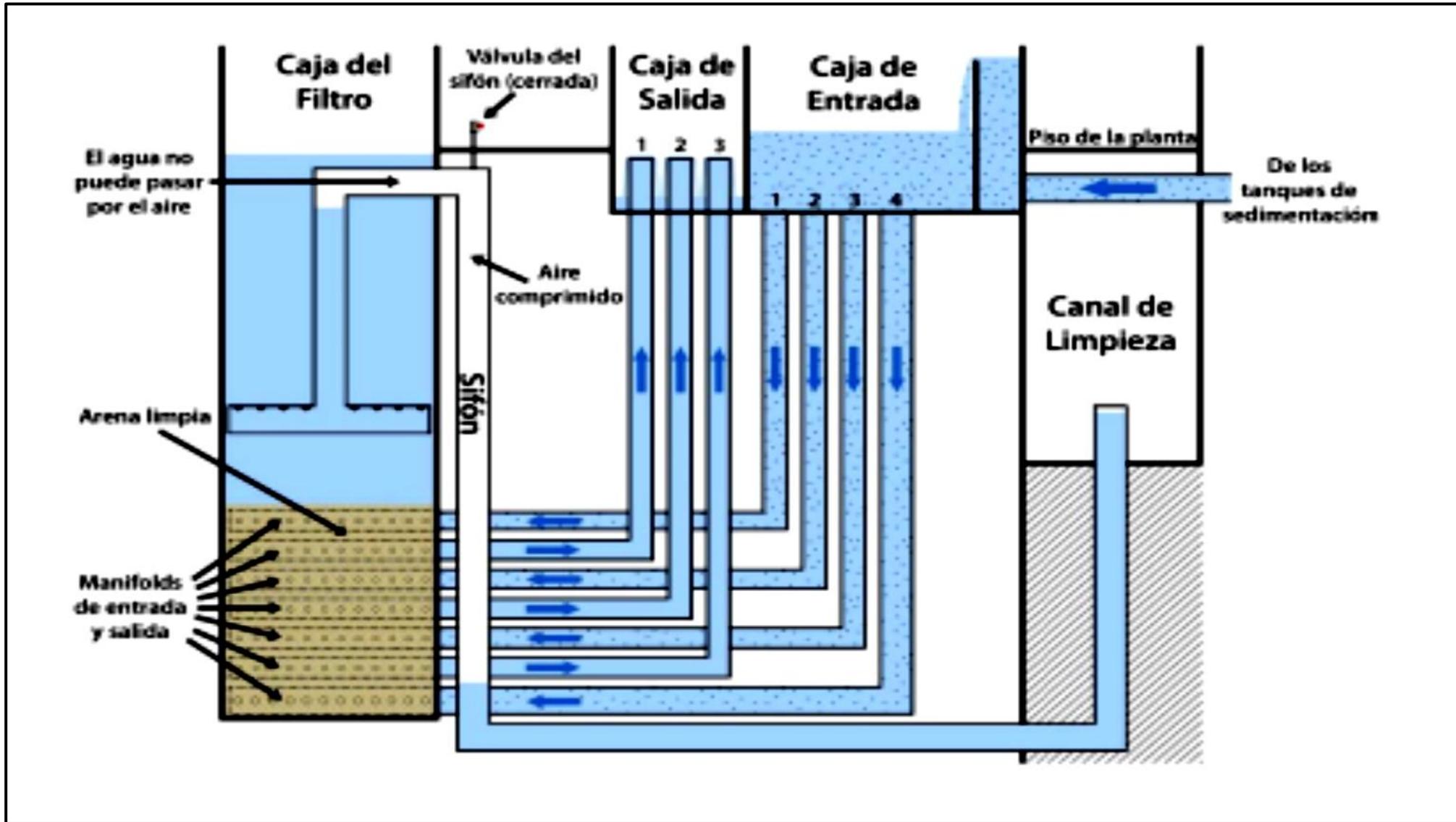
El ciclo de retrolavado necesita una velocidad de agua aproximadamente seis veces más alta que el ciclo de filtración para fluidificar la arena y purgar el sedimento acumulado.

El FRAMCA de AguaClara, por otro lado, efectivamente *pone los filtros de esta batería uno encima de otro*, en seis capas horizontales, así conservando el área plana.

De esta manera, todo el caudal que normalmente se divide entre las entradas de las seis capas en el ciclo de filtración, se concentra en una sola entrada inferior en el ciclo de retrolavado.



Ciclo de filtración

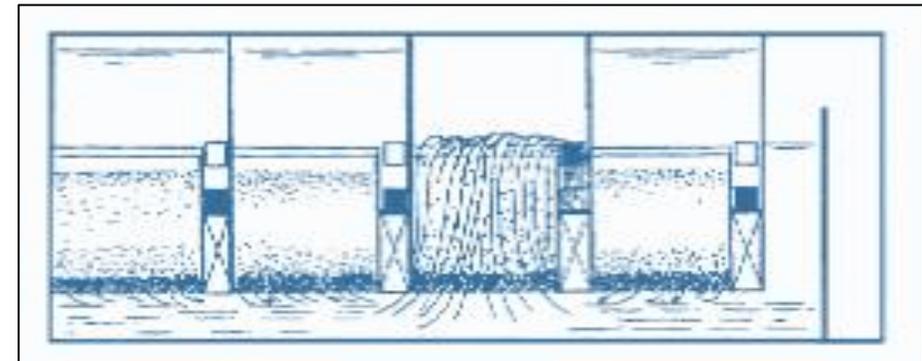
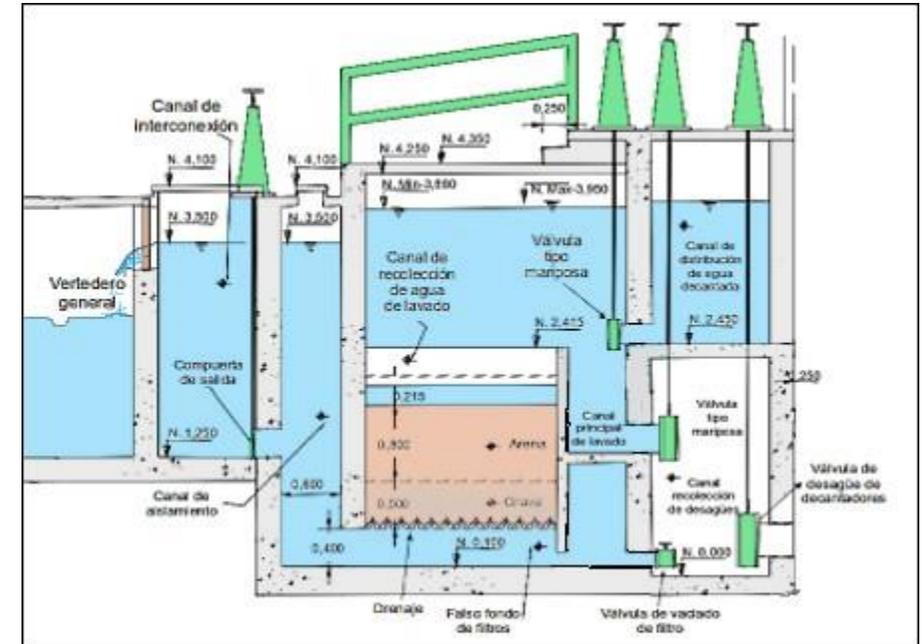


Lavado de los filtros

Durante el lavar los filtros se invierte la corriente (el agua se introduce de abajo hacia arriba). A este proceso se le denomina de retrolavado. La velocidad ascendente del agua debe expandir la arena entre **25% y 30%**.

Procedimiento de Lavado:

1. Cerrar el ingreso de agua decantada.
2. Cerrar la salida de agua filtrada .
3. Abrir el desagüe.
4. Abrir la válvula de lavado (al principio, lentamente). Cuando el agua comience a caer en la canaleta de agua de lavado, iniciar el conteo del tiempo de lavado.
5. Cerrar el ingreso de agua de lavado cuando el agua que sale del filtro por la canaleta se vea clara y sin flóculos. Al dejar de correr el agua en la canaleta, verificar el tiempo transcurrido durante el lavado (de 4 a 7 minutos).
6. Cerrar el desagüe.
7. Abrir el ingreso de agua decantada.
8. Cuando el filtro este lleno, abrir el drenaje de fondo durante 2 o 3 minutos.
9. Cerrar el drenaje.
10. Llenar el filtro primero por el fondo; dejar una capa de agua de 0,10 m sobre la arena.
11. Cerrar el desagüe.
12. Abrir la salida de agua filtrada. Para ponerlo en funcionamiento.



Parámetros Operacionales

- Número de Mintz
- Pérdida de carga
- Expansión del lecho Filtrante

Número de MINTZ

Es el parámetro más importante para la optimización de la operación de las unidades de filtración rápida, y se define como la relación entre el tiempo en que se llega a la calidad limite(**T1**) y el tiempo en que se llega a una pérdida de carga limite(**T2**)

$$Nm = T1/T2$$

Siendo el Ideal **Nm = 1.0**

Pérdida de carga hidráulica

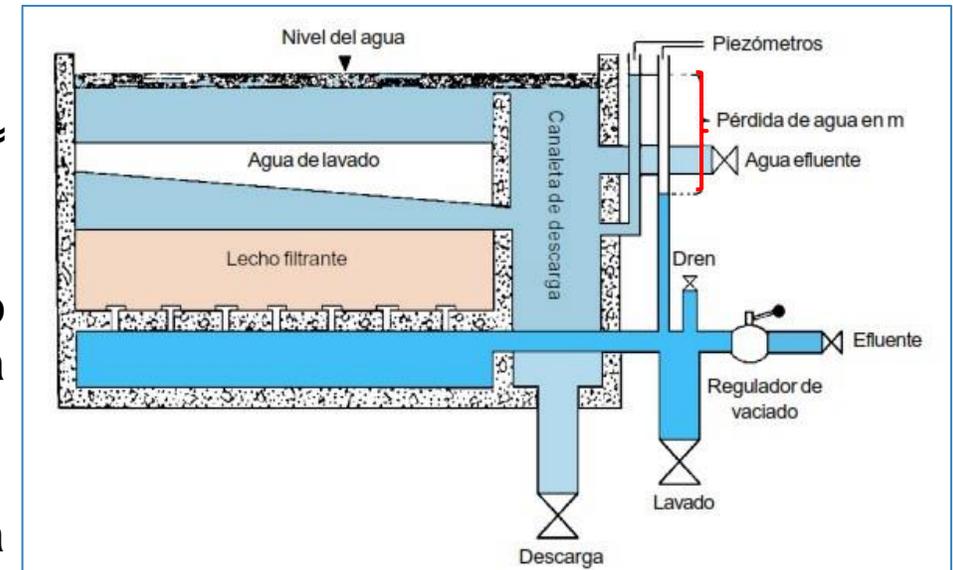
Se producen por el paso del agua decantada por el medio filtrante.

Para cada filtro existe una pérdida de carga máxima permisible ($\approx 2\text{m}$), que puede ser medida rápidamente de la siguiente manera:

- ✓ El canal de descarga del filtro se conecta a un tubo (piezométrico) transparente, para que cuando el agua suba por este, indique el nivel de agua en el filtro.
- ✓ Se adhiere otro tubo (piezométrico) transparente a la tubería de salida del agua filtrada, de manera que *cuando la válvula del efluente esté cerrada*, indique también el nivel de agua en el filtro.

Si el filtro está en funcionamiento, el nivel del agua es más bajo en el tubo piezométrico unido a la tubería del agua filtrada, debido a que la arena ofrece cierta resistencia al paso del agua.

La diferencia de nivel entre los dos tubos es la medida de la pérdida de carga. En los filtros limpios recién lavados la diferencia es de aproximadamente **0,50m**.



Generalmente:

$$NF = h - h1$$

h = Nivel del agua dentro de la caja del filtro

$h1$ = Nivel del agua a la salida del filtro

Incremento de la pérdida de carga

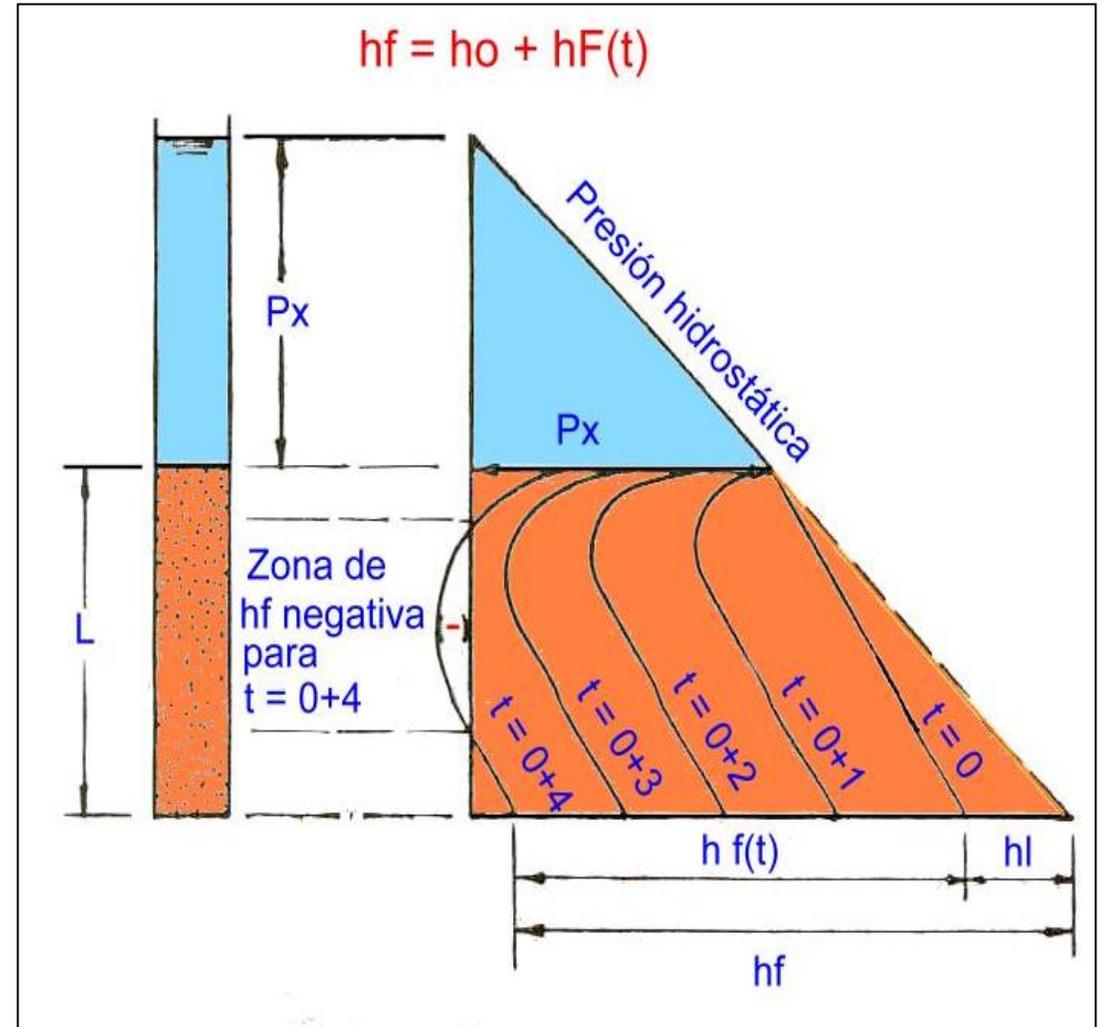
Es importante **controlar que el filtro no exceda la pérdida de carga permitida**, caso contrario puede suceder lo siguiente:

La colmatación de la superficie ofrece mayor resistencia y **proporciona al agua una presión negativa** en el interior del lecho filtrante.

Los gases son solubles en razón directa a la presión y, con la presión negativa, los gases disueltos (O_2 , CO_2 , etcétera) **abandonan el agua**, primero en pequeñas burbujas que se unen y luego tienden a subir a la superficie del lecho filtrante.

Ese volumen de gas obstruye el paso del agua en el filtro, lo cual ocasiona una **pérdida de carga mayor y reduce el área filtrante**.

Se puede observar que cuando se cierra el efluente del filtro o se abre el registro de lavado, el aire produce un burbujeo.



Expansión del lecho Filtrante

Esta íntimamente ligado a la eficiencia del proceso de lavado del filtro, la tendencia hoy en día es expandir el lecho filtrante entre un **25 y 30%** y **10%** cuando es lavado mediante aire y agua.

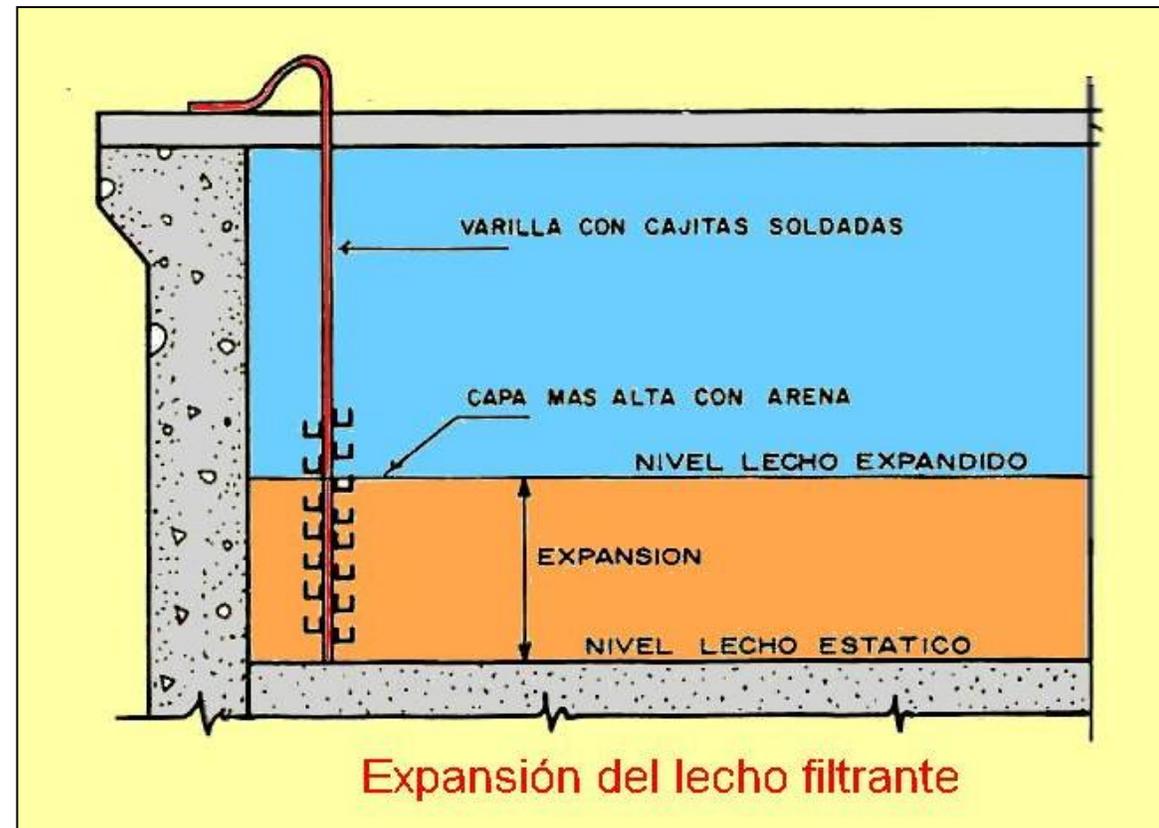
$$E = 100 * Ah / h1$$

E = expansión de la arena en %

Ah = Incremento de altura del
lecho filtrante en el lavado, m

h1 = altura del lecho filtrante, m

Una deficiente expansión del lecho filtrante conduce al deterioro a corto plazo del filtro.



Manera de medir la expansión en la arena

La varilla se debe fijar en la parte superior de la caja del filtro para que no se mueva durante la prueba. Las cajas deben quedar en posición horizontal.

1. Colocar la varilla sobre el nivel del lecho estático (antes de que se inicie el lavado).
2. Iniciar la operación de lavado y dejar dos a tres minutos la varilla en la posición seleccionada.
3. Retirar con cuidado la varilla.
4. Volver a colocar la varilla de tal manera que la última plataforma quede a 15 centímetros de la superficie anterior de la arena.
5. Se abre nuevamente el lavado en la abertura convencional como para el lavado simple.
6. Cerrar el lavado. Cuando el agua deje de correr por la canaleta de lavado, se retira la vara metálica con cuidado y se verifica hasta qué plataforma tiene arena. A la altura obtenida se le suman los 15 cm desplazados anteriormente.



De esta manera, con medidas sucesivas, es posible determinar la expansión real de la arena.

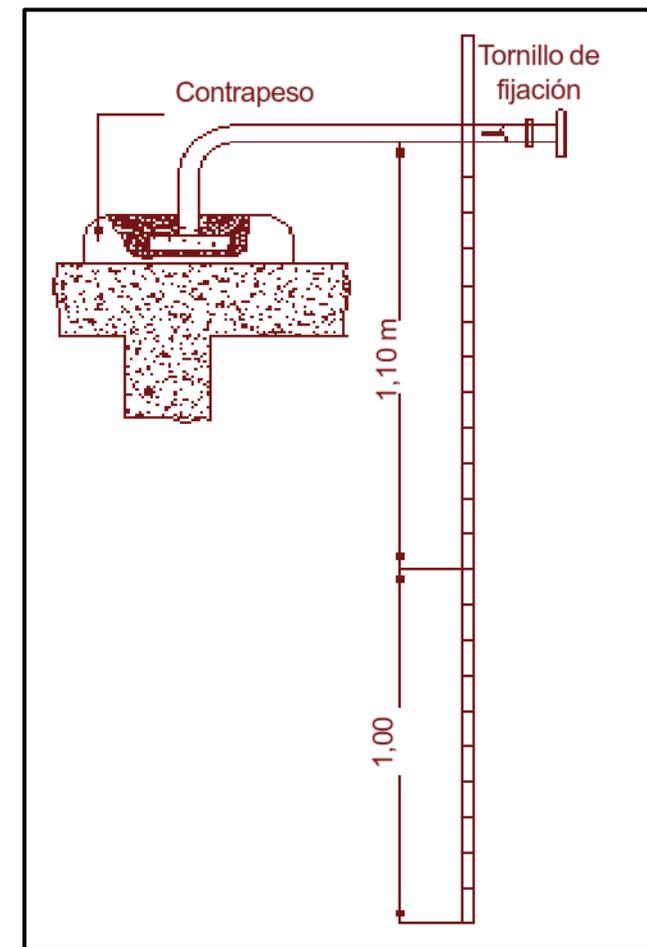
Si después de la operación de lavado se encuentra material filtrante en las canaletas de lavado, esto es signo de que la expansión es excesiva y será necesario reducir el caudal de lavado.

Determinación de la velocidad de lavado

Para determinar experimentalmente la velocidad ascendente del agua de lavado, se procede de la siguiente manera:

1. Cerrar el ingreso y esperar a que el nivel del agua baje hasta aproximadamente cuatro centímetros de la superficie de la arena.
2. Cerrar el efluente.
3. Abrir la descarga de agua de lavado.
4. Colocar el aparato de la Figura, a exactamente **10** centímetros de la superficie de la arena.
5. Abrir el lavado (ligeramente al principio).
6. Cuando el lavado esté abierto por completo, cronometrar el tiempo que lleva el agua en recorrer el espacio entre dos o tres marcas de una regla graduada.
7. Continuar el lavado hasta la clarificación del agua.
8. Cerrar la descarga de agua de lavado cuando el agua deje de correr por las canaletas.
9. Retirar con cuidado la regla graduada.

Nota: La medida, se efectuarse debajo de las canaletas de recolección del agua de lavado, caso contrario debe restarse su volumen.



Determinación de la velocidad de filtración

Para determinar experimentalmente la tasa de filtración, se utiliza el mismo aparato empleado para determinar experimentalmente la velocidad ascendente del agua de lavado (ver Figura).

Se deben tomar las siguientes precauciones:

- El filtro debe estar lleno y en funcionamiento, en su nivel máximo.
- El aparato debe colocarse sobre el borde de la canaleta como en la Figura.
- Calcular el área total del filtro (ATm^2).

El área total del filtro comprende el área filtrante y el área de la canaleta de descarga. Que resulta de multiplicar la longitud total del filtro en metros, por el ancho del filtro, en metros.

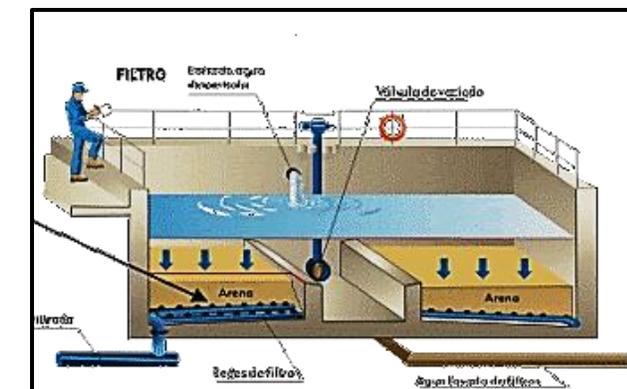
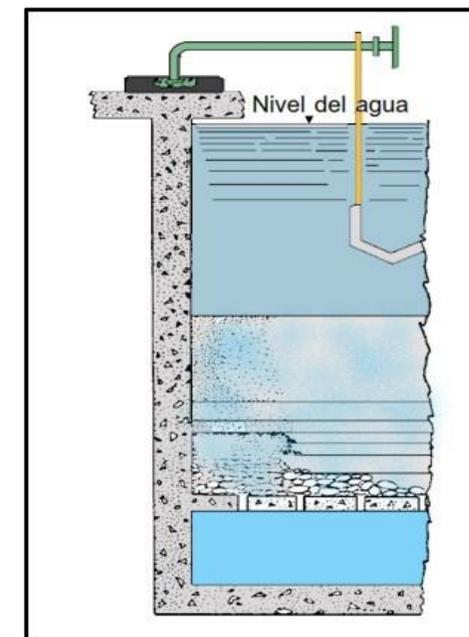
- Calcular el área del lecho filtrante (AFm^2).

Longitud del área filtrante, en metros, multiplicada por el ancho del área filtrante en metros.

Una vez que se han tomado las precauciones anteriores:

- Cerrar el ingreso del filtro.
El nivel del agua va a bajar.
- Cronometrar el tiempo (t segundos) que toma el nivel para bajar a la altura h (en metros) correspondiente al borde de una de las plataformas hasta la siguiente o a otra (**0,10 a 0,20** metros).

$$\text{tasa de filtración} = \frac{ATm^2 \times hm \times 86.400 \text{ seg}}{t \text{ (segundos)} \times AF(m^2)} = m^3/m^2/día$$



Estado de un filtro

El estado de un filtro **varía continuamente en el período de filtración** (entre un lavado y otro) y se modifica lentamente con el paso de los años, las perturbaciones en el lecho filtrante pueden ser causadas por los siguientes factores:

- a) **Dosis incorrectas de coagulantes, mala floculación y mala decantación**, que hacen que el filtro reciba material gelatinoso y materia orgánica que van a obstruir el lecho filtrante.
- b) **Desprendimiento del aire** que normalmente está disuelto en el agua, en forma de burbujas. Debido a la pérdida de carga excesiva.
- c) **Formación de bolas de lodo** provenientes de material gelatinoso (organismos, hidróxido de aluminio y arena). La dosificación inadecuada, el lavado deficiente de los filtros y la excesiva pérdida de carga que producen la compresión del lecho filtrante y la consecuente compactación de las bolas de lodo.
- d) **Presencia de algas y otros microorganismos** que llegan a los filtros y se reproducen en ellos.

Colmatación de la arena

La colmatación de la arena se produce, debido a la deficiencia en las operaciones, como resultado de las siguientes situaciones:

- a) **No se usa la dosificación adecuada** de sulfato de aluminio (coagulación deficiente).
- b) El pH de floculación no es óptimo; los coágulos se cargan eléctricamente y, al repelerse, no flocculan de manera correcta.
- c) **El tiempo de los floculadores o su agitación es excesiva o escasa** (los flóculos no se forman o se forman pero se vuelven a romper).
- d) **Hay corrientes preferenciales en los decantadores, decantadores sucios, alta velocidad del agua** en los decantadores, etcétera.

Gran parte de los coágulos o pedazos diminutos de los flóculos atraviesan los decantadores y, al llegar a los filtros, **los granos de arena especialmente los de la superficie quedan revestidos por una capa gelatinosa de hidróxido de aluminio, materia orgánica y otros materiales absorbidos por los coágulos** que contribuye a aumentar la pérdida de carga.

Al lavar el filtro, la arena colmatada, **por quedar con menor densidad, puede ser arrastrada** por el agua de lavado.

Al poner a funcionar el filtro nuevamente después de un lavado, como los granos están envueltos con material gelatinoso y adheridos unos a otros, **se produce una reducción de volumen, tanto vertical como horizontal**, lo cual puede producir un desplazamiento de la arena contra las paredes del filtro. El agua pasará, de preferencia, por tales retracciones y perjudicará la calidad del efluente.

Distribución uniforme de la filtración y del agua de lavado.

Cuando se lava un filtro, al inicio de la operación de retrolavado, **se debe observar si la suciedad retenida en la superficie de la arena sube horizontalmente en toda el área filtrante.**

Si esto no sucede, es porque el sistema de drenaje del filtro es deficiente, o bien por un error en el lavado:

- ✓ formación de aire en el lecho filtrante;
- ✓ aire en la cámara bajo el fondo falso;
- ✓ repentina abertura del registro de lavado;
- ✓ las capas de grava se agitaron y no se encuentran niveladas.

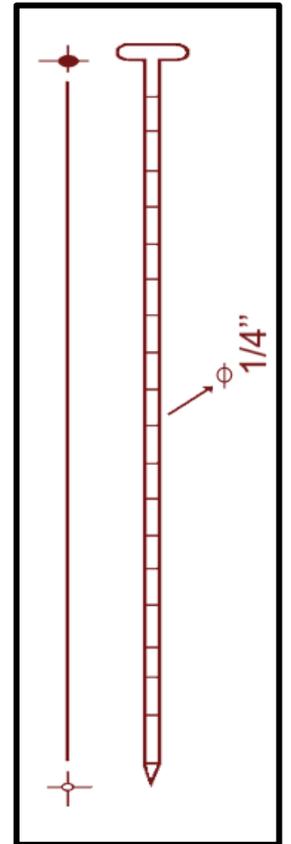
Es posible comprobar esta imperfección con una varilla de hierro de **1/4** de pulgada de diámetro y **2m** de largo, graduada de **10** en **10**cm.

Se introduce dicho instrumento en la arena del filtro seco, hasta percibir que llegó a la grava. La profundidad de la grava en relación con el nivel de la arena se mide con las marcas del instrumento.

Con cambios sucesivos en líneas predeterminadas y a distancias preestablecidas, se puede hacer lo siguiente:

- concluir si la capa de grava está o no nivelada;
- levantar el perfil de la superficie de la grava en el filtro.

Donde existe depresión en la grava, también existen corrientes preferenciales de agua de filtración o de lavado. Se debe remover la grava para tamizarla y colocarla de nuevo.



Bolas de Lodos

Las bolas de lodo aparecen cuando el agua en tratamiento es rica en algas (principalmente, las que se adhieren a las paredes) o los filtros no se lavan completamente debido a un periodo de lavado muy corto o con una velocidad ascendente del agua de lavado incorrecta (baja). ***Los flóculos más densos, que el agua de lavado no condujo hacia afuera, se vuelven a sedimentar en la superficie filtrante; crecen debido a la adherencia de más flóculos y se vuelven más densos al recibir granos de arena.***

Tales agregados, inicialmente pequeños y por lo general de forma esférica, pueden llegar a medir tres centímetros o más. Estos ***se pueden eliminar mediante el lavado mecánico o evitar con la agitación del material del lecho filtrante durante el lavado con rastrillos.***

Las bolas de lodo en la superficie del filtro no tienen importancia sanitaria. Sin embargo, al volverse densas y crecer, ***pueden penetrar en la arena y, al llegar a la grava, formar masas homogéneas que obstruyen el paso del agua.***

Muestreo y separación de las bolas de lodos

Muestreo de la arena

1. Lavar el filtro de la manera usual.
2. Secar el filtro abriendo el drenaje.
3. Recolectar por lo menos cinco muestras de arena de distintas partes del lecho, con la inserción vertical completa en la arena de un tubo de muestra.

Cerrar la base del tubo de muestreo y transferir la arena del tubo a un recipiente portátil (por ejemplo, un balde).

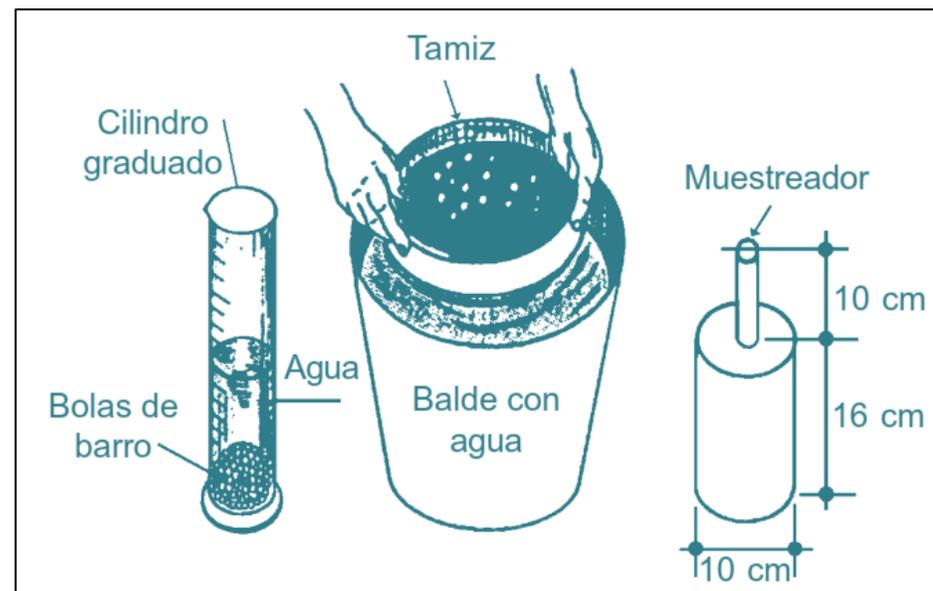
Separación de las bolas de lodo.

En otro balde de agua, se coloca un tamiz US Standard **10** mesh (10 hilos por pulgada) como se indica en la Figura. La arena recolectada se coloca dentro del tamiz, mientras que el tamizado se hace lentamente; de esta manera, la arena se separa de las bolas de lodo, pues estas no pasan por la malla.

Tubo de muestreo o muestreador.

Es un tubo metálico de **7,5** centímetros de diámetro por **15** centímetros de altura (véase la Figura). Completamente lleno, contiene **662** mililitros de material filtrante, recolectado en la lámina de **15** centímetros de la parte superior de la arena del filtro.

Las cinco muestras tendrán un volumen total de $5 \times 662 = \mathbf{3.310}$ mL.



Medición del volumen de las bolas de lodo

Con otra probeta de **500** mililitros (n.º2), llena de agua hasta la marca, se vierte cuidadosamente el agua en la probeta que contiene las bolas de lodo (n.º1), y se llena hasta la marca.

El volumen del agua que sobre en la probeta n.º 2 será igual al volumen que ocupen las bolas de lodo. El porcentaje se puede calcular de la siguiente manera

$$\% Bl = 100 \frac{VBL}{VMA}$$

Donde:

%VBL = porcentaje de bolas de lodo

VBL = volumen de bolas de lodo, ml

VMA = volumen total de la muestra de arena, ml.

Clasificación

La clasificación del siguiente cuadro para la línea de tope de **15** centímetros se utiliza en Chicago y está basada en pruebas efectuadas en numerosas instalaciones.

% EN VOLUMEN DE BOLAS DE LODO	CONDICIONES DEL MATERIAL FILTRANTE
0,0-0,1	excelente
0,1-0,2	muy bueno
0,2-0,5	bueno
0,5-1,0	regular
1,0-2,5	de regular a malo
2,5-5,0	malo
7,5	muy malo

El operador de la planta de tratamiento de agua se **debe esforzar por mantener las bolas de lodo en una concentración inferior a 0,1%.**

Grietas y ranuras en el lecho filtrante

Cuando el medio filtrante se encuentra en malas condiciones, aparecen grietas o ranuras en el lecho filtrante. **Las bolas de lodo penetran en la arena y en la grava durante los lavados**; todo ello forma una masa compacta impermeable con la grava, que afecta el flujo normal del agua filtrada y el agua de lavado. **En consecuencia, se produce un lavado y una filtración deficientes.**

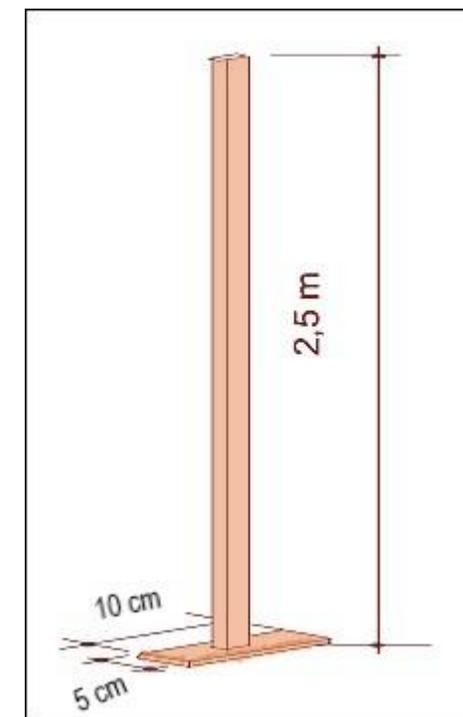
Durante el lavado, la arena no se expande de manera uniforme. Durante la filtración, la arena más expandida y compacta se separa de la menos expandida y compactada mediante ranuras o grietas que terminan llenas de lodo.

Ese lodo se mezcla con la arena y se forman nuevas bolas.

Para encontrar los lugares donde se encuentran obstrucciones de la grava, se utiliza un aparato (ver figura) que tiene un asta de madera de **2,50** metros en el extremo de la cual se coloca una pequeña tabla de **10** x **5** centímetros.

El aparato se introduce verticalmente en la arena expandida durante el lavado. En los lugares obstruidos la vara no puede llegar hasta la grava por falta de expansión.

Una vez señalados los lugares resistentes, se pueden romper las compactaciones mediante la introducción de rastrillos en dichos puntos durante el retrolavado, para mejorar la condición de los filtros.



Corrección de las alteraciones en los filtros:

1. Correcta aplicación de la dosificación de coagulante.
2. Buena decantación.
3. Lavado con una velocidad de agua correcta y expansión de arena adecuada.
4. Lavado de la superficie de la arena con chorros de agua cuando el filtro no posee un dispositivo para el lavado superficial (Palmer).
5. Lavado mecánico de la arena; renovación de la arena superficial, después de un lavado normal, con paletas, rastrillos y mallas.
6. Eventualmente, se puede hacer un lavado químico de la arena, en soda o ácido, dentro o fuera del filtro.
- 7 .Sustitución total de la arena.



Evaluación de la filtración

En el **control sistemático del color y turbidez** del agua filtrada en cada unidad de filtración es importante saber lo siguiente:

Un aumento del color y de la turbidez en una unidad filtrante puede significar:

- necesidad de lavado;
- filtro con grietas o desplazamiento de la arena contra las paredes, etc.

La determinación del aluminio residual en el agua filtrada es una confirmación sobre el pH óptimo de floculación, pero la misma prueba en el agua de salida de cada filtro puede indicar el paso de flóculos por el lecho filtrante.

La eficacia del tratamiento se evalúa mediante la **determinación del O₂ consumido o el conteo de colonias de bacterias** en una placa de agar patrón. Las mismas determinaciones en las unidades filtrantes pueden controlar la eficacia de la filtración de cada una de ellas.

El tiempo transcurrido entre dos lavados del mismo filtro (controlado por la pérdida de carga) muestra la eficacia del tratamiento (coagulación y decantación).

Resumen

- Pérdida de carga : entre 1.80 2.50m
- O₂ Consumido < 1.80mg/l
- Aluminio residual total < 0.30 mg/l
- Reducción conteo de colonias > 90%
- Agua de lavado : entre 2 a 2.5%

Desinfección

Es un proceso selectivo para la destrucción de los microorganismos Patógenos(capaces de producir enfermedades).

Es necesario porque no es posible asegurar la remoción total de microorganismos mediante procesos físico-químicos.

Cloración

Entre los agentes de la desinfección(desinfectantes), el más empleado en la potabilización de agua es el cloro, por las razones siguientes:

- ❖ Se encuentra fácilmente disponible en forma de gas, líquido o sólido.
- ❖ Es barato.
- ❖ Es fácil de aplicar debido a su alta solubilidad.
- ❖ Deja un residual en solución, sencillo de determinar.
- ❖ Destruye la mayoría de gérmenes patógenos.

Cloración

La Cloración involucra un tratamiento especializado mediante el empleo de un agente químico o físico. Y para lograr un proceso eficiente se requiere tomar en cuenta los siguientes aspectos.

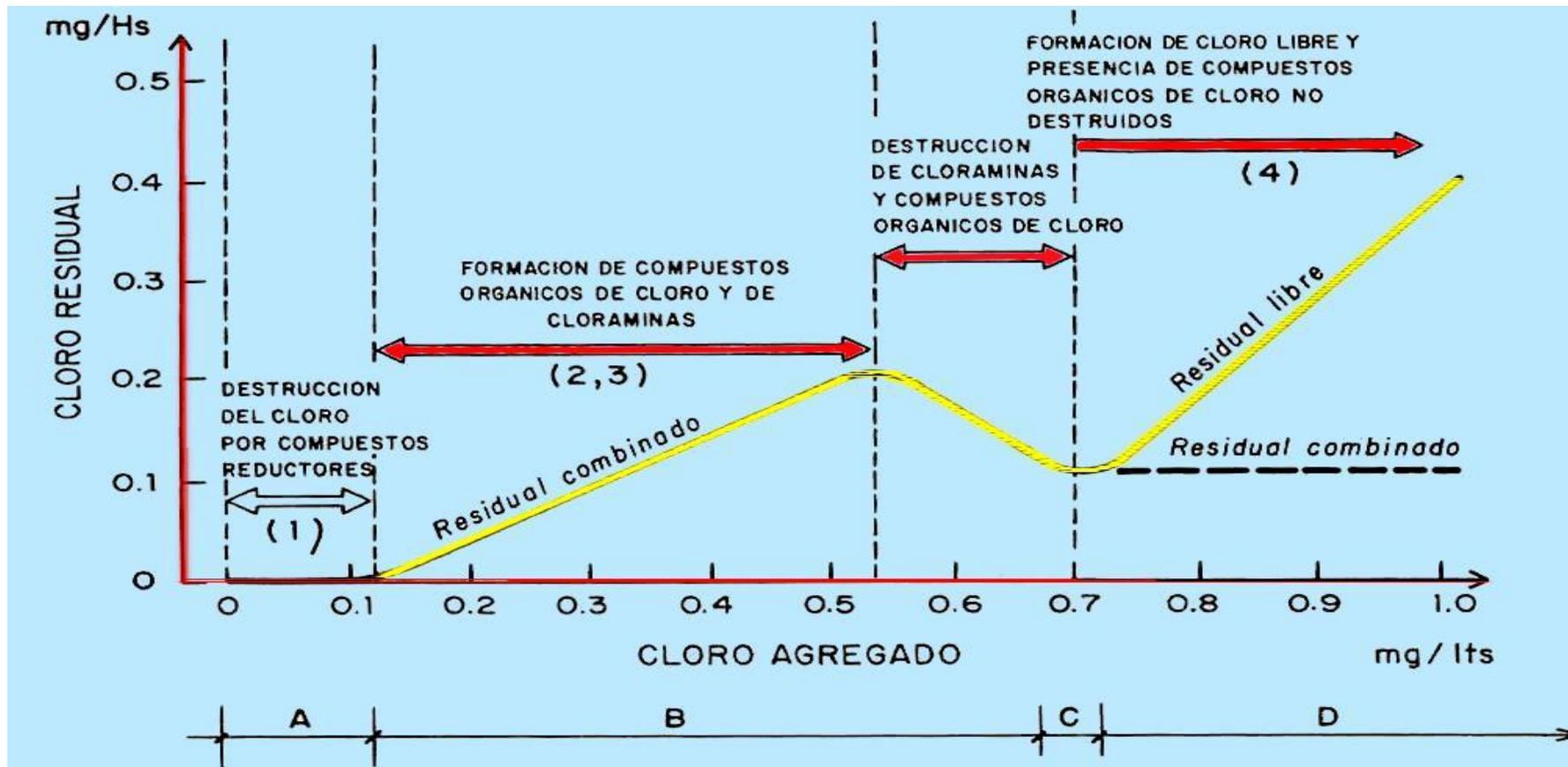
Factores que afectan

- ❖ Naturaleza del desinfectante
- ❖ Concentración del desinfectante
- ❖ Tiempo de contacto
- ❖ pH
- ❖ Agitación
- ❖ Temperatura del agua
- ❖ Naturaleza de los organismos a ser destruidos (bacterias, virus y Protozoos)
- ❖ Concentración de los organismos
- ❖ Características físico químicas del agua

Demanda de Cloro

Es la Cantidad de cloro que se debe agregar a un caudal de agua, **para garantizar la destrucción de microorganismos** que pueden estar presentes, para la adopción de la dosis de cloro debemos determinar la Curva de Demanda de Cloro y determinar su punto de quiebre, y en base a ésta **fijar la dosis y la zona en que queremos desinfectar.**

Gráfica de demanda de cloro



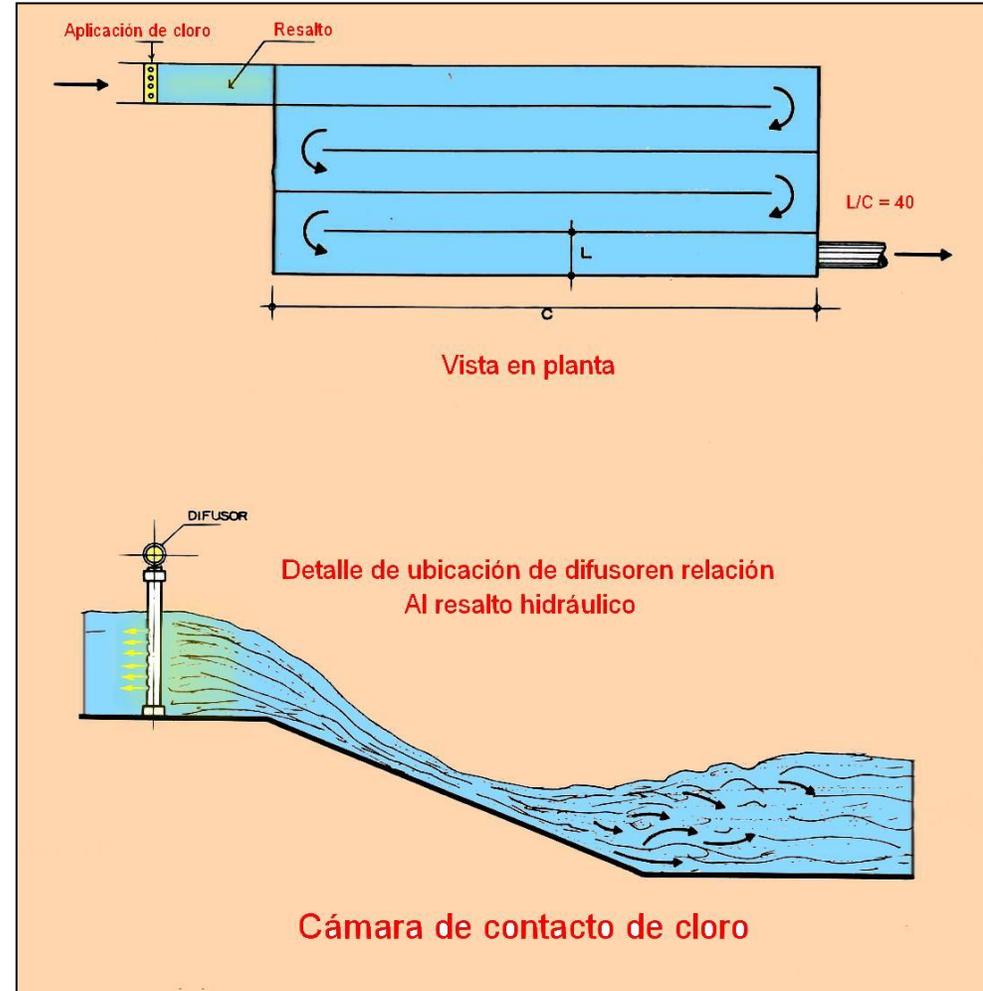
Factores que podemos controlar

De los factores que influyen la desinfección solamente podemos controlar los siguientes:

- ✚ **Período de contacto.**
- ✚ **pH.**
- ✚ **Concentración del desinfectante**

Período de contacto.

Es el tiempo de contacto entre el cloro y el agua necesario para la destrucción de todos los microorganismos patógenos, depende del pH y de la temperatura del agua. Cuanto mayor es el tiempo más efectiva es sus acción y la dosis de cloro puede ser menor.



Cuadro D-5. Valores CT para la inactivación de quistes de *Giardia* con cloro libre a 20 °C

Concentración del cloro (mg/L)	pH < 6.0 Log de inactivación						pH = 6.5 Log de inactivación						pH = 7.0 Log de inactivación						pH = 7.5 Log de inactivación					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
< = 0.4	6	12	18	24	30	36	7	15	22	29	37	44	9	17	26	35	43	52	10	21	31	41	52	62
0.6	6	13	19	25	32	38	8	15	23	30	38	45	9	18	27	36	45	54	11	21	32	43	53	64
0.8	7	13	20	26	33	39	8	15	23	31	38	46	9	18	28	37	46	55	11	22	33	44	55	66
1	7	13	20	26	33	39	8	16	24	31	39	47	9	19	28	37	47	56	11	22	34	45	56	67
1.2	7	13	20	27	33	40	8	16	24	32	40	48	10	19	29	38	48	57	12	23	35	46	58	69
1.4	7	14	21	27	34	41	8	16	25	33	41	49	10	19	29	39	48	58	12	23	35	47	58	70
1.6	7	14	21	28	35	42	8	17	25	33	42	50	10	20	30	39	49	59	12	24	36	48	60	72
1.8	7	14	22	29	36	43	9	17	26	34	43	51	10	20	31	41	51	61	12	25	37	49	62	74
2	7	15	22	29	37	44	9	17	26	35	43	52	10	21	31	41	52	62	13	25	38	50	63	75
2.2	7	15	22	29	37	44	9	18	27	35	44	53	11	21	32	42	53	63	13	26	39	51	64	77
2.4	8	15	23	30	38	45	9	18	27	36	45	54	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78
2.6	8	15	23	31	38	46	9	18	28	37	46	55	11	22	33	44	55	66	13	27	40	53	67	80
2.8	8	16	24	31	39	47	9	19	28	37	47	56	11	22	34	45	56	67	14	27	41	54	68	81
3	8	16	24	31	39	47	10	19	29	38	48	57	11	23	34	45	57	68	14	28	42	55	69	83
Concentración del cloro (mg/L)	pH = 8.0 Log de inactivación						pH = 8.5 Log de inactivación						pH < 9.0 Log de inactivación											
	0.5	1	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
< = 0.4	12	25	37	49	62	74	15	30	45	59	74	89	18	35	53	70	88	105						
0.6	13	26	39	51	64	77	15	31	46	61	77	92	18	36	55	73	91	109						
0.8	13	26	40	53	66	79	16	32	48	63	79	95	19	38	57	75	94	113						
1	14	27	41	54	68	81	16	33	49	65	82	98	20	39	59	78	98	117						
1.2	14	28	42	55	69	83	17	33	50	67	83	100	20	40	60	80	100	120						
1.4	14	28	43	57	71	85	17	34	52	69	86	103	21	41	62	82	103	123						
1.6	15	29	44	58	73	87	18	35	53	70	88	105	21	42	63	84	105	126						
1.8	15	30	45	59	74	89	18	36	54	72	90	108	22	43	65	86	108	129						
2	15	30	46	61	76	91	18	37	55	73	92	110	22	44	66	88	110	132						
2.2	16	31	47	62	78	93	19	38	57	75	94	113	23	45	68	90	113	135						
2.4	16	32	48	63	79	95	19	38	58	77	96	115	23	46	69	92	115	138						
2.6	16	32	49	65	81	97	20	39	59	78	98	117	24	47	71	94	118	141						
2.8	17	33	50	66	83	99	20	40	60	79	99	119	24	48	72	95	119	143						
3	17	34	51	67	84	101	20	41	61	81	102	122	24	49	73	97	122	146						

NOTA: CT 99.9 = CT para 3-log de inactivación.

Tiempo de Contacto

$$T = \frac{CT}{C}$$

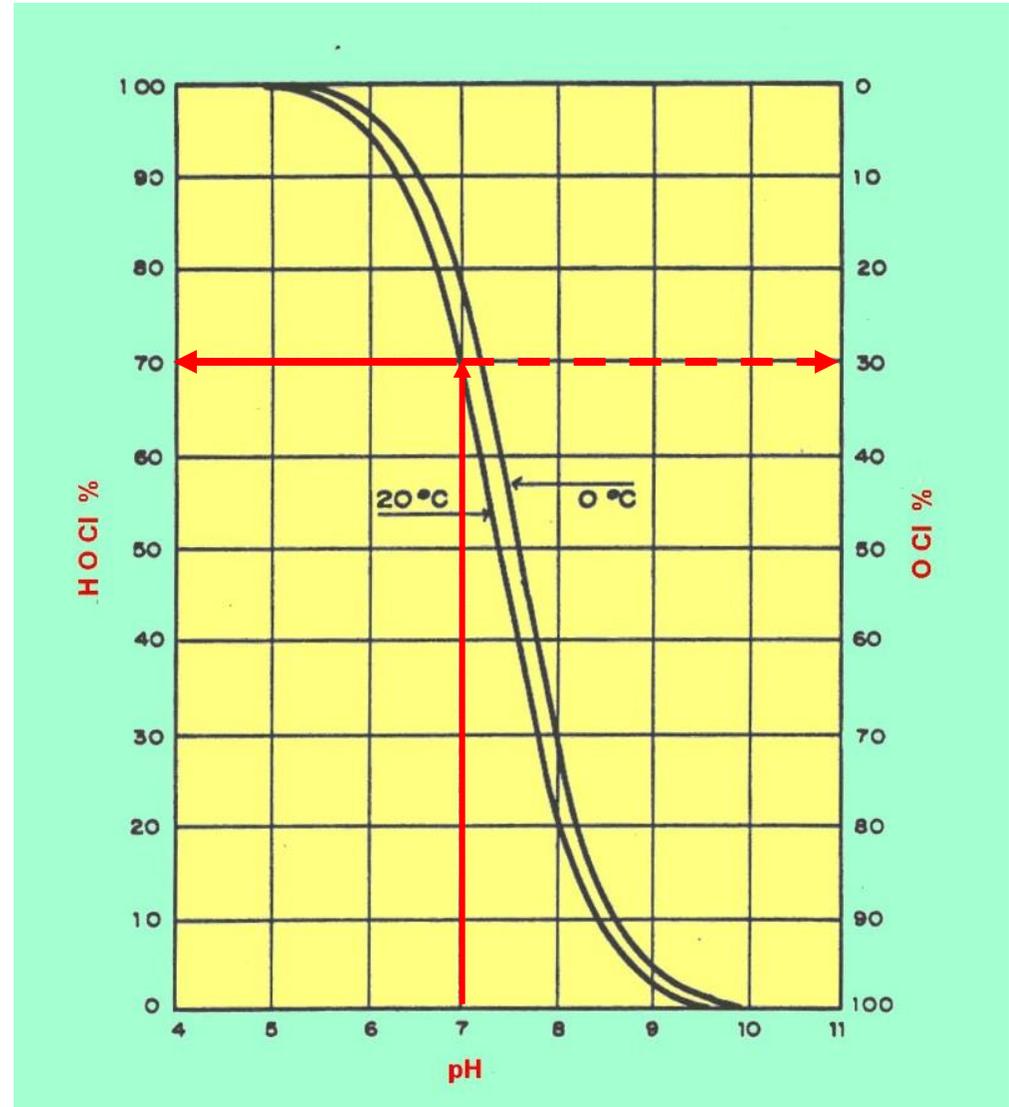
pH.

La desinfección es más eficiente a un pH bajo, en la práctica entre **6** y **7**.

El cloro gaseoso disuelto en Agua reacciona en forma compleja para formar acido hipocloroso(**HOCL**)

Este a su vez se disocia formando cationes de hidrogeno(**H⁺**) y Aniones de hipoclorito (**OCL⁻**), ambos compuestos son desinfectantes pero el HOCL es mucho más eficiente que el OCL⁻,

En determinadas condiciones el OCL⁻ tiene apenas un **2%** de la capacidad bactericida del HOCL.



Concentración de la Solución de hipoclorito de calcio (Sólido)

$$C = \frac{P * I}{10 * V}$$

C = concentración, en %

P = Cantidad de hipoclorito en, gr.

V = Volumen útil del hipoclorador, en litros

I = Grado de pureza del hipoclorito, en %

Ejemplo

Peso de cloro, P = 160 g

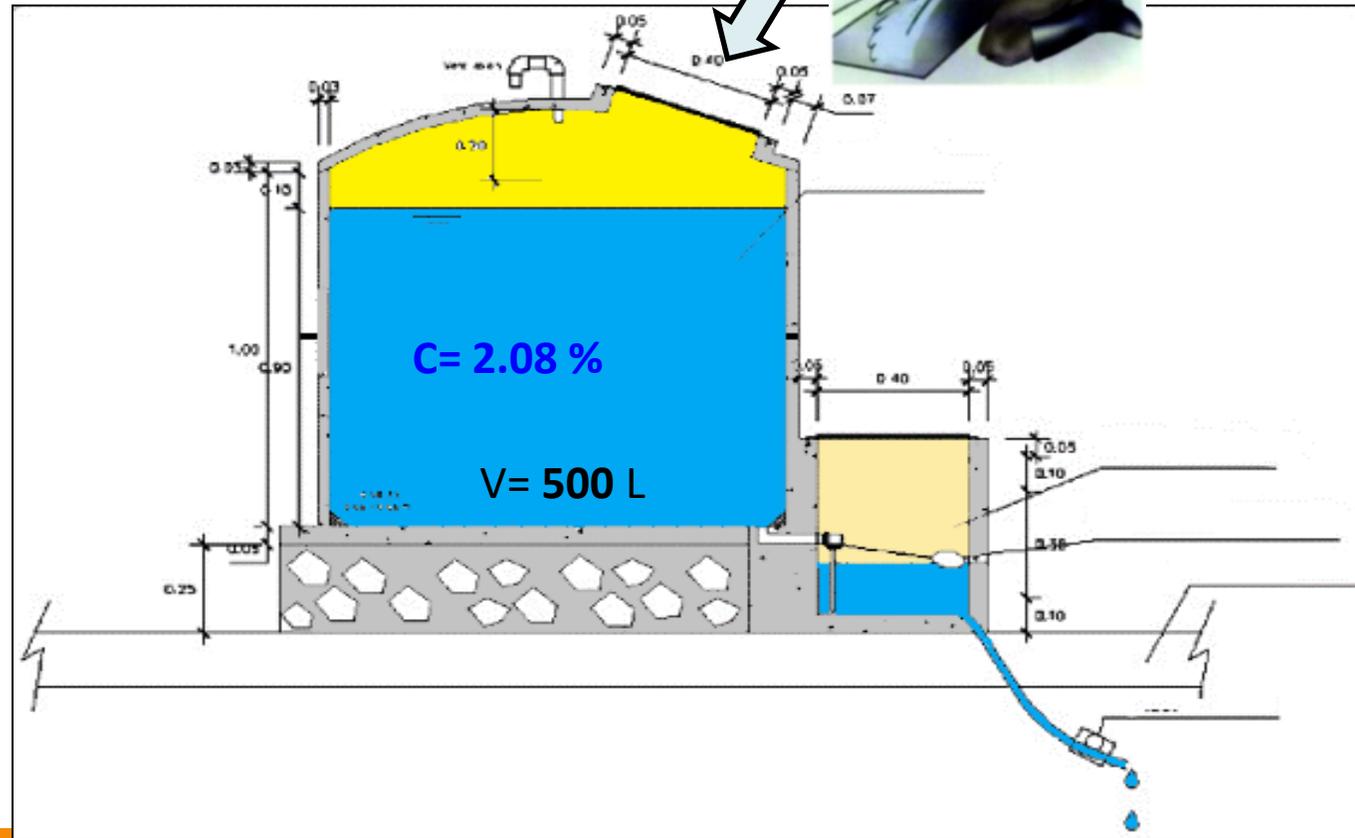
Volumen del hipoclorador, V= 500 Litros

Grado de pureza, I= 65%

$$C = 160 * 65 / (10 * 500) = \mathbf{2.08 \%}$$

P= 160gr

I = 65%



Cálculo Concentración de la solución, usando cloro líquido (Hipoclorito de Sodio)

$$C_s = \frac{C_o * V_o}{(V + V_o)}$$

C_s = concentración de la solución, en %

C_o = concentración del hipoclorito de sodio, en %

V_o = volumen del recipiente de hipoclorito, en litros

V = volumen del hipoclorador

Ejemplo

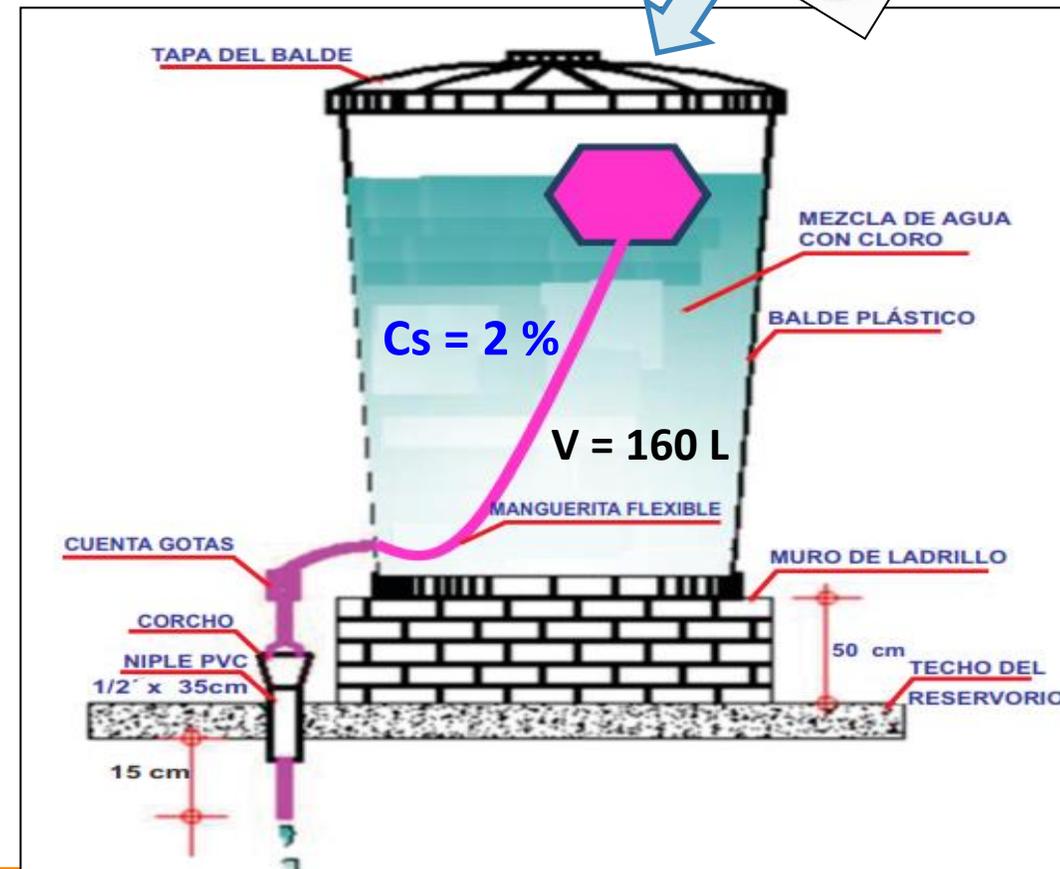
Concentración del hipoclorito de sodio, **C_o = 10%**

Volumen del recipiente de hipoclorito, **V_o = 40 litros**

Volumen del hipoclorador, **V = 160 litros**

C_s = 10*40/(160+40) = 2%

C_o = 10%
V_o = 40 litros



Cálculo de Caudal de solución a dosificar

$$q = \frac{600 * D * Q}{C}$$

- q** = caudal de solución a dosificar, en ml/min
- D** = dosis de hipoclorito en, mg/l
- Q** = caudal a tratar en, l/s
- C** = concentración de la solución, en %

Ejemplo

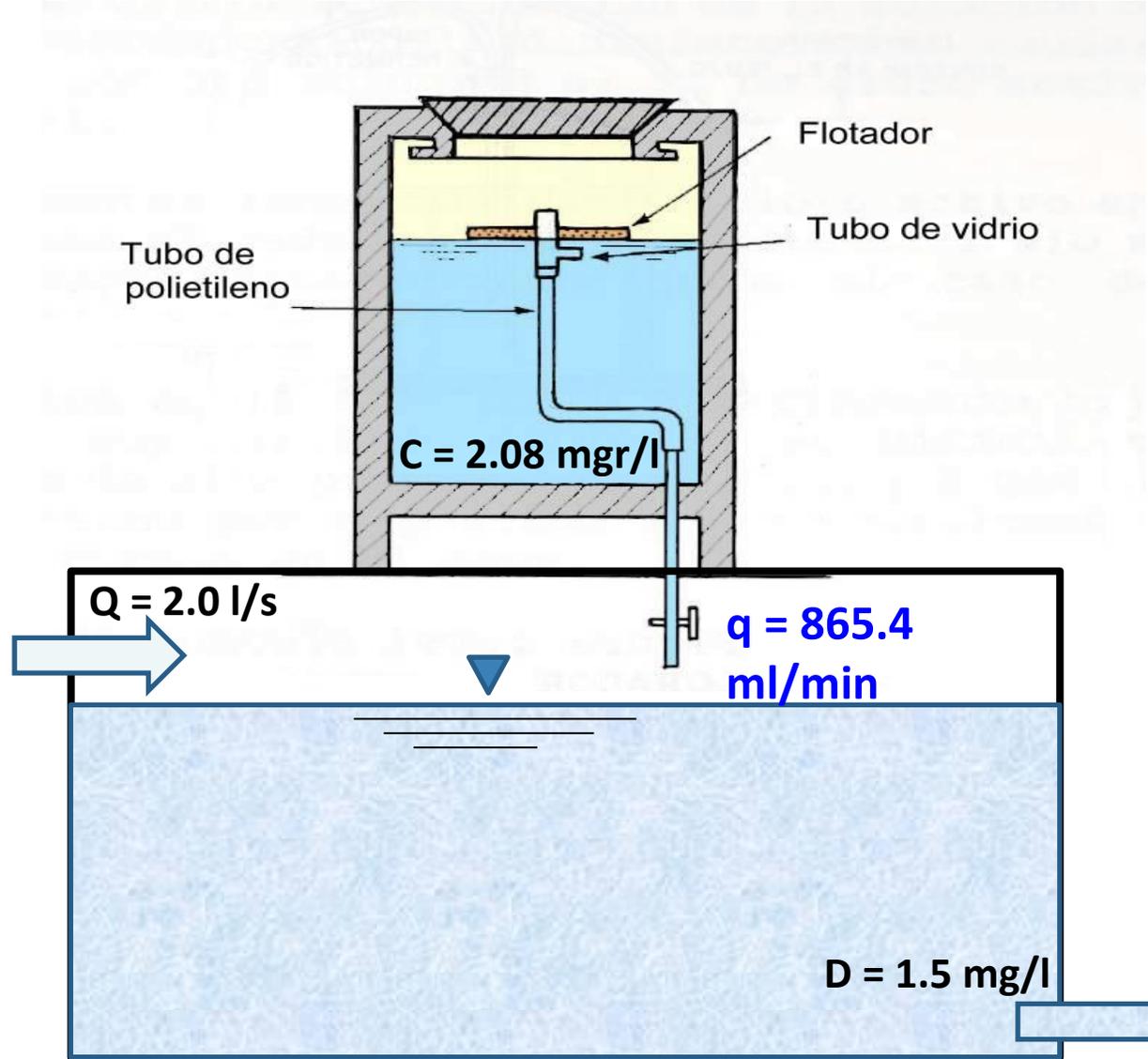
q = caudal de solución a dosificar, q = ?

Dosis de cloro, D = 1.5 mg/l

Caudal a tratar, Q = 5.0 l/s

Concentración de la solución, C = 2.08 %

q = 600*1.5*2.0/ (2.08) = 865.4 ml/min



Cloro Líquido

Se suministra en cilindros especiales, bajo presión, con una pureza de hasta **99,99%**, con pesos de:

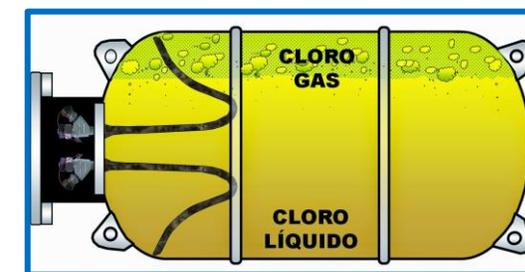
- 40,
- 68 y
- 900 kilogramos.

Quando se retira el gas del recipiente, la presión interior disminuye y se pierde calor. Para conservar el calor y la presión, se necesita una fuente de calor externa que puede ser agua o un irradiador en el caso de temperaturas bajas (frío).

La cantidad de cloro que se puede retirar de los cilindros a una temperatura de **25 °C** sin congelación será:

- **8** kg/día por cilindro de **40** kg;
- **16** kg/día por cilindro de **68** kg;
- **180** kg/día por cilindro de **900** kg.

En caso de que se necesiten cantidades mayores, se utilizan baterías de cilindros.

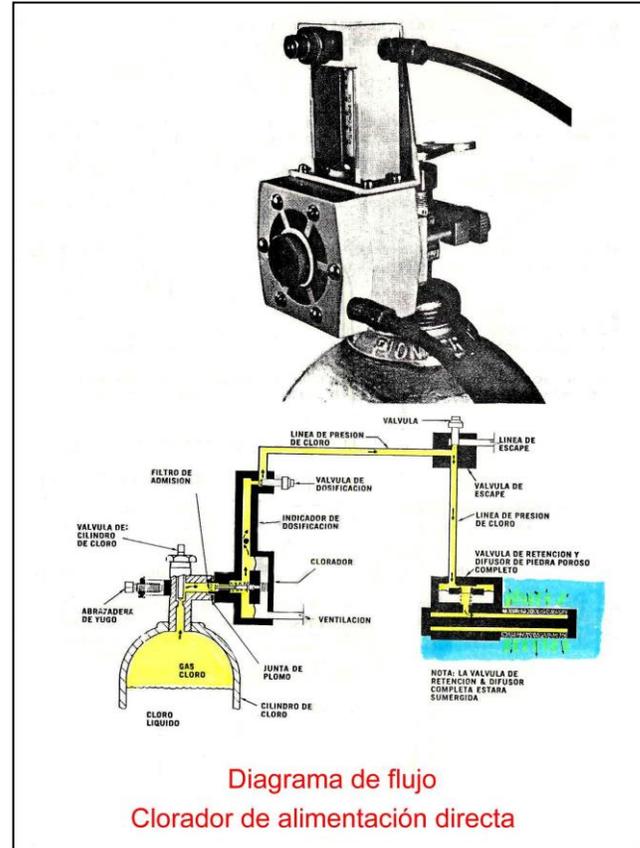


Dosificadores para cloro líquido

Existen dos tipos:

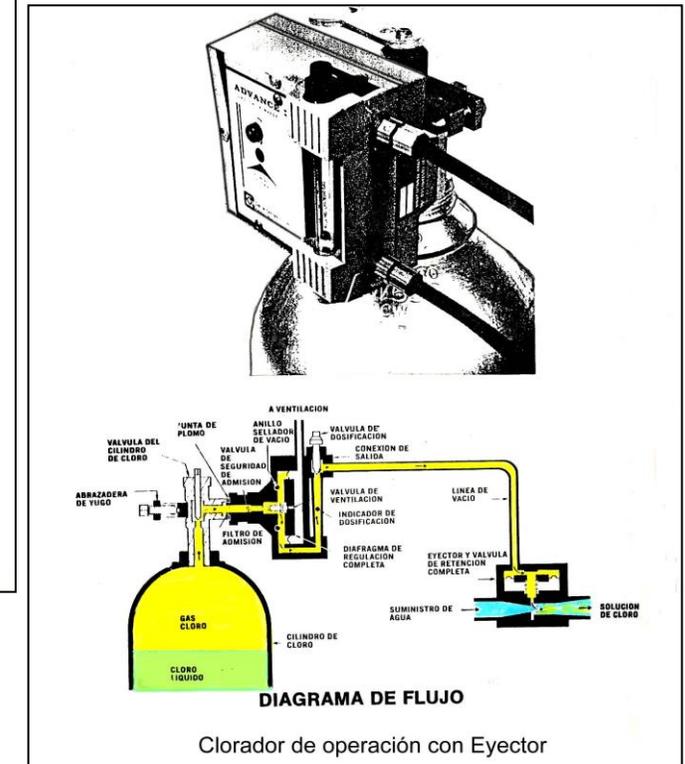
a) Alimentación directa:

El gas se disuelve directamente en el punto de tratamiento.

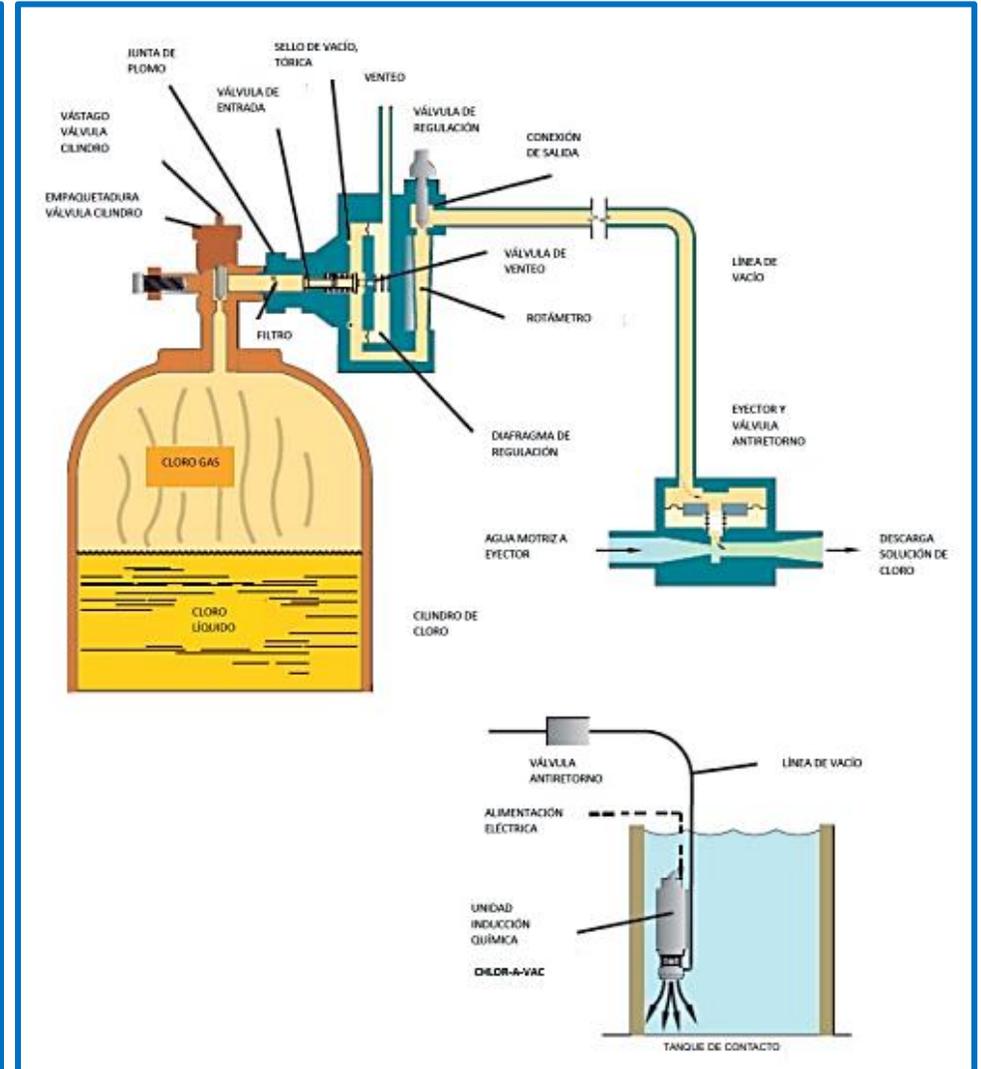


b) Alimentación de vacío (por solución):

El gas se disuelve en una corriente de agua menor y la solución resultante se aplica en el punto de tratamiento.



Instalación de cloración, Cloro Líquido



Regulación del rotámetro

Para su cálculo utilizamos la ecuación de balance de masas:

$$Q * D = q * C = P$$

Q = caudal a tratar en L/s

D = dosis aplicada de desinfectante, mg/L

q = Caudal de la solución de cloro, L/s

C = concentración de la solución, mg/L (= 1g/m³)

P = peso requerido de desinfectante, g/h

$$P = 3.6 * Q * D$$

Ejemplo

Caudal a desinfectar: **Q** = 20L/s

Dosis a aplicar de desinfectante, **D** = 3.0 mg/L

$$\begin{aligned} P &= 3.6 * Q * D \\ &= 3.6 * 20 * 3 = 216 \text{ gr/h} \end{aligned}$$



CONASA
Consejo Nacional de Agua
Potable y Saneamiento



para todos
por siempre
AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN HONDURAS

¡Muchas Gracias!



Ing. Pedro E. Ortiz B.

www.conasa.hn