

## **Tema 5. Introducción al estudio de los procesos de purificación y tratamiento para aguas naturales y residuales.**

### **Proceso global de purificación para aguas de consumo. Operaciones y procesos unitarios. Procesos de tratamiento primario y secundario para aguas residuales.**

De acuerdo a su origen, los suministros de agua se clasifican en tres categorías: (1) Aguas superficiales (Ríos, lagos, océanos, aguas embalsadas), (2) aguas subterráneas y (3) aguas de lluvia.

Desde el punto de vista del usuario, el concepto de calidad de agua sirve para definir aquellas características químicas, físicas, biológicas o radiológicas que emplea como patrón para calibrar la aceptabilidad de un agua cualquiera.

El agua absolutamente pura no se encuentra en estado natural, conteniendo sustancias tanto en solución como en suspensión, dependiendo de sus orígenes así como las características del medio en que se encuentra. Las características de las aguas superficiales difieren de cuenca en cuenca y son totalmente diferentes de las características de las aguas subterráneas.

La calidad del agua cruda está definida con base en las siguientes características:

- Características físicas
- Características químicas
- Características Bacteriológicas.

#### **Características físicas:**

Turbiedad: Característica que hace aparecer el agua como turbia o barrosa. Resistencia a que la luz pase. Se origina por la presencia de partículas suspendidas que van desde el tamaño coloidal hasta arena gruesa, cuya presencia depende del grado de turbulencia del agua.

La naturaleza de dichas partículas

{	Mineral, limos, arcillas, etc.	
	Orgánico, residuos vegetales, microorganismos, etc.	

Las causas son muy variadas  
Erosión causada por las corrientes  
Desechos domésticos  
Desechos industriales  
Crecimiento de microorganismos, que se alimentan de la materia orgánica  
Otras causas menores.

Significado sanitario. Desde el punto de vista estético no hay correlación entre la turbiedad y el grado de contaminación, pero el consumidor rechazaría un agua que tenga mal aspecto. La filtrabilidad es más difícil de ejecutar y más costosa cuando la turbiedad aumenta, determina el uso de filtros lentos de arena o filtros rápidos, cuya efectividad depende de la remoción de la turbiedad.

La turbiedad se mide en diferentes unidades, los NTU son una de las unidades comúnmente usada.

Color. Gran parte de las aguas superficiales, particularmente las que provienen de zonas pantanosas, son coloreadas en grado tal que no son aceptables para uso doméstico e industrial. Estas características hacen aparecer el agua coloreada y se origina por el contacto del agua con desechos orgánicos, tales como hojas, madera, etc. El hierro presente en muchos compuestos produce un color muy resistente. Se puede también deber a desechos industriales que llegan a las corrientes o lagos.

Clasificación:

Clases	}	Orgánico: color debido a materia orgánica
		Inorgánico: color debido a materia inorgánica.
Tipos	}	Verdadero: Color de la muestra después de que se asientan las partículas en suspensión. (Debido a materia coloidal proveniente de extractos vegetales y orgánicos)
		Aparente: Color de la muestra antes que se asienten las partículas en suspensión (color debido a materia suspendida)

El color puede ser medido de varias formas, una de las comunes es reportarlo en unidades de platino-cobalto.

No existe correlación entre el color y el grado de contaminación, pero el usuario asocia el color con la contaminación. En todo caso el agua debe estar libre de color para que sea agradable a la vista.

Olor y sabor.

Se utiliza la unidad de Olor Incipiente, que se consigue calibrando la sensibilidad de diferentes individuos.

El método de determinación lo realiza un individuo experimentado, que con la ayuda de una tabla relaciona las unidades de olor incipiente, con una concentración en miligramos por litro de una determinada sustancia.

Las siguientes son las principales aplicaciones de olor y sabor en el agua:

- ✓ Son útiles como una comprobación de la calidad del agua cruda y del agua tratada.
- ✓ Para el control de olor en las diferentes unidades de una planta potabilizadora
- ✓ Determinación de la dosis óptima de químicos conveniente.
- ✓ Determinación de la efectividad de los diferentes tratamientos

- ✓ Medio para definir la fuente de contaminación.

### Temperatura

En aplicaciones industriales es importante para calcular la transmisión calorífica (enfriamiento o calefacción) o para definir su aplicabilidad en los diferentes procesos.

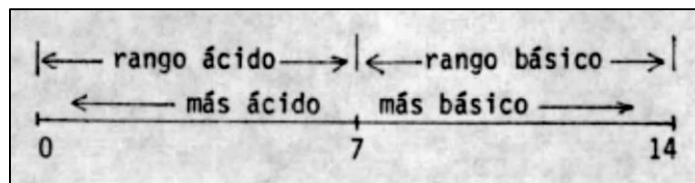
En términos generales, a mayor temperatura, mayor actividad de microorganismos aeróbicos con la consiguiente disminución de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Además, a mayor temperatura, menor es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, a presión constante. Lo anterior hace que se presenten condiciones anaeróbicas, que conllevan a condiciones sépticas con presencia de malos olores y sabores.

### **Características Químicas**

pH. Término usado universalmente para expresa la intensidad de acidez o basicidad de una solución cualquiera, en este caso el agua.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

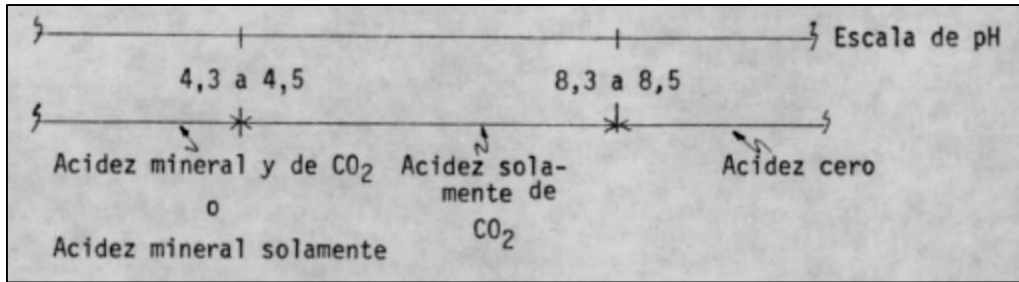
La escala de pH con un rango de 0 a 14, con pH = 7 representando la neutralidad absoluta.



El pH puede ser determinado mediante métodos colorimétricos y electrométricos.

El pH da el valor de la concentración del ión  $\text{H}^+$  y por consiguiente el grado de acidez o de alcalinidad que pueda tener el agua. El pH es importante porque influencia los procesos de tratamiento, tanto los de agua potable como los de aguas residuales. En la potabilización del agua, interviene en la coagulación-floculación, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión. En aguas naturales el pH está entre 6,5 y 9, generalmente.

Acidez. Proviene de la presencia de  $\text{CO}_2$  y ácidos minerales como el ácido sulfúrico, nítrico, fosfórico, entre otros.



El CO<sub>2</sub> tiene poca importancia desde el punto de vista de salud pública. La acidez mineral en altas concentraciones destruye la flora acuática. La acidez comunica al agua un alto poder corrosivo que destruye equipos de la planta, tuberías en general, aparatos sanitarios, griferías, etc. Cuando se realizan tratamientos biológicos, el pH debe ser mantenido entre 6 y 9,5. El cálculo de la cantidad de químicos necesarios para lograr este ajuste de pH, está basado en los valores de la acidez.

### Alcalinidad.

La alcalinidad de las aguas naturales es debida principalmente a las sales de ácidos débiles, aunque también contribuyen bases débiles y fuertes. El bicarbonato representa la mayor forma de alcalinidad puesto que este se forma de la acción del CO<sub>2</sub> sobre los componentes básicos del suelo. Al disolverse el CO<sub>2</sub> en el agua se origina ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, el cual al disociarse, produce ion bicarbonato e ion carbonato. Hay otros tipos de sales de ácidos débiles que comunican la alcalinidad al agua como por ejemplo fosfatos, silicatos, boratos, etc, los cuales existen en cantidades tan pequeñas que no tiene significado y pueden ser ignorados.

Desde el punto de vista sanitario el agua presenta un sabor muy desagradable con alcalinidad muy alta. Hay precipitación de sales de calcio en tuberías, lo cual reduce su capacidad hidráulica con el tiempo. Puede producir un pH inadecuado para ciertos tratamientos biológicos.

Se determina por titulación con ácido sulfúrico, utilizando como indicador la fenolftaleína o anaranjado de metilo. La concentración de alcalinidad se expresa en mg/L como CaCO<sub>3</sub>.

### Dureza.

Un agua dura es aquella que consume gran cantidad de jabón antes de formar una espuma estable o produce incrustaciones cuando se incrementa la temperatura del agua, por ejemplo en calderas.

El jabón se precipita principalmente por los cationes calcio y de magnesio que comúnmente se presentan en las aguas naturales debido a las formaciones geológicas por las cuales transita el agua. Pero igualmente puede precipitarse por los iones de otros metales polivalentes como hierro, aluminio, magnesio, estroncio

y zinc, pero por encontrarse estos en pequeñas cantidades, se considera que la dureza del agua se debe solamente a los cationes de calcio y magnesio.

La dureza impide la formación de espuma del jabón y causa gran desperdicio del mismo, se precipita en las calderas, dañándolas, en equipos metálicos el problema es muy aguda cuando se calienta agua es por ello que se deben realizar tratamiento de remoción de dureza denominado ablandamiento.

Esta variable es medida haciendo una titulación con EDTA el cual un ácido orgánico. Es expresada como  $\text{CaCO}_3$  en mg/L.

### Hierro y Manganeso.

Tanto el hierro como el manganeso crean serios problemas en aguas de servicio público, siendo mayores los problemas cuando se trata de aguas subterráneas. El hierro y el manganeso entran en solución generalmente en forma bivalente ( $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ).

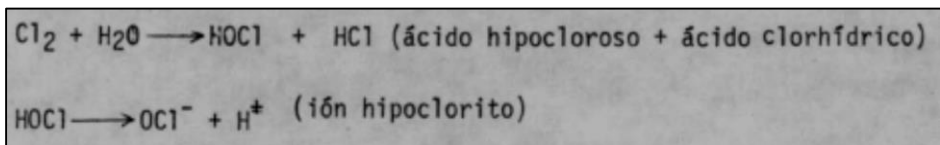
Cuando un agua que contenga hierro se expone al aire y el oxígeno entra en ella, se torna turbia e inaceptable desde el punto de vista estético.

El hierro y el manganeso interfieren las operaciones de lavado y causan problemas de manchas en los aparatos sanitarios y en la industria textil. Comunican mal sabor al agua, aunque no producen daño a la salud. Contribuyen a la proliferación de las bacterias del hierro con lo cual aceleran la corrosión de las tuberías.

Una de las formas de medición de estos parámetros es mediante colorimetría, previo añadir un compuesto químico que forman compuestos coloreados con el hierro y el manganeso.

### Cloro - Cloro Residual.

Se utiliza en la práctica para desinfectar el agua. Al agregar cloro al agua se produce la siguiente reacción:



Toda la materia orgánica y las bacterias reaccionan con el cloro. La cantidad necesaria que hay que agregar para garantizar la eliminación de los microorganismos patógenos hay que determinarla en el laboratorio. El cloro que no reacciona representa el cloro residual.

### Cloruros.

No hay que confundir el cloro con los cloruros. El ion cloro formando cloruros actúa con valencia  $\text{Cl}^{-1}$ , en cambio el ion cloro forma compuestos de cloro, con valencia

cero o con valencia +1. Eventualmente los cloruros son utilizados como desinfectantes, caso del hipoclorito de sodio.

Los cloruros provienen de sales del suelo que se disuelven en el agua. En zonas costeras por comunicación freática con el agua de mar. Contaminación por el hombre y animales: por origen fecal y orina.

En concentraciones hasta 2000 mg/L no trae consecuencias a la salud, sin embargo puede presentar un sabor salobre.

Los cloruros eran usados inicialmente como indicadores de contaminación fecal antes de que aparecieran las pruebas bacteriológicas.

El ion cloruro puede ser determinado por procedimientos volumétricos por titulación utilizando indicadores.

### Nitrógeno.

El nitrógeno está ligado a los procesos de transformación de materia orgánica. El nitrógeno que originalmente se encuentra como nitrógeno amoniacal en la materia orgánica se transforma a nitritos como estado intermedio y después pasa a su estado más estable en forma de nitratos que representan la materia mineral.

El nitrógeno es un indicador de la calidad sanitaria del agua. En grandes concentraciones actúa como un nutriente, haciendo proliferar bacterias nitrificadoras las cuales son aerobias, disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto en el agua, trayendo consigo condiciones anaerobias o sépticas que generan malos olores y sabores en el agua.

El nitrógeno es usado como un indicador de contaminación, su presencia puede causar dificultad de absorción, por parte de la hemoglobina en la sangre, del oxígeno contenido en la atmosfera. La cantidad de nitrógeno amoniacal presente en el agua en el momento de la desinfección determina, en cierto grado, la dosis de cloro necesaria para obtener cloro residual.

### Flúor.

El flúor es conveniente en la prevención de caries dentales siempre y cuando su concentración no exceda los 1 mg/L. Concentraciones altas genera una enfermedad en los dientes denominada fluorosis causando manchas marrones. Agregar flúor representa el proceso de fluoración y el proceso contrario Defluoración.

### Sulfatos.

Se encuentran frecuentemente en las aguas naturales. En aguas de desecho de industrias son altas las concentraciones, en forma de  $H_2SO_4$ . Los sulfatos combinados con calcio y magnesio forman incrustaciones duras en tuberías y artefactos donde se conduce, calienta o evapora el agua. Es laxante a concentraciones mayores a los 500 mg/L. Es tóxico en plantas y animales si la

concentración es mayor de 200 mg/L. En algunos casos genera malos olores en el agua producto de la reducción de bacterias que produce ácido sulfhídrico.

#### Otras impurezas.

Existen otras impurezas como el cobre, calcio y zinc.

#### Sustancias tóxicas.

Las más comunes son el plomo, selenio, arsénico, cromo, cianuro, cadmio, plata, bario, etc. Proviene de fuentes naturales cuando en el agua entra en contacto con el suelo e igualmente de fuentes artificiales a partir de desechos industriales, tuberías de plomo, etc.

### **Características Bacteriológicas.**

Las aguas con microorganismos patógenos, puede poner en peligro la salud y la vida. Los gérmenes patógenos se propagan con más frecuencia por esta vía y causan problemas intestinales tales como: fiebre tifoidea y paratifoidea, disentería, cólera, etc. Estos microorganismos se encuentran en la heces y orina de las personas infectadas, cuando se eliminan, pueden causar contaminación del agua que se emplea como fuente de abastecimiento.

Los microorganismos patógenos llegan al agua a través de las deyecciones intestinales. Pero por otro lado, los microorganismos del grupo coliforme, y en especial la Escherichia Coli, son huéspedes habituales o normales del intestino humano y animal y se encuentran por consiguiente en las heces. Los coliformes tienen las siguientes ventajas desde el punto de vista de su determinación con respecto a los patógenos, motivo por el cual son los que se detectan.

#### Calidad del agua cruda.

Las características o impurezas en el agua son sumamente cambiantes con el tiempo. Las causas derivan de las condiciones naturales como lluvias, sequías, alteraciones producidas por el hombre como descarga de desechos domésticos e industriales, y proliferación de microorganismos como algas, hongos, etc. En la Figura 1 se muestra una clasificación del agua a partir la fuente u origen.

CLASIFICACION DE AGUAS CRUDAS PARA POTABILIZACION ( O.M.S. )				
Contaminante o Característica	Unidad	Excelente	Buena	Deficiente
Turbiedad	U.T	0-10	10-250	>250
Color	U.C	0-20	20-150	>150
pH promedio	-	6,0-8,5	5,0-9,0	3,8-10,5
Cloruros	mg/l	<50	50-250	>250
Fluoruros	mg/l	< 1,5	1,5-3,0	>3,0
Coliformes: prome dio mensual máx.dfa	NMP/100ml	50-100	100-5000	>5000

Figura 1. Clasificación de las aguas crudas para potabilización.

### Calidad del agua tratada.

Un agua tratada de buena calidad solo puede definirse en función de su utilización. En general se acepta que el agua producida por una planta de tratamiento para abastecimiento doméstico e industrial es de buena calidad cuando; es clara, agradable al gusto, de temperatura razonable, no corrosiva ni formadora de incrustaciones, exenta de sustancias minerales de efectos tóxicos o patológicos y de microorganismos que puedan producir enfermedades intestinales.

La calidad del agua está controlada por normas locales o de entidades como la OMS, Servicio de Salud Pública de los Estado Unidos, la Agencia de los Estados Unidos para la protección del Ambiente EPA, "National Interim Primar" y "Drinking Water Standards". En la Figura 2 se muestran los rangos de las características físicas, químicas más comunes para un agua potable.



NORMAS DE CALIDAD FISICO - QUIMICO DEL AGUA PARA USO DOMESTICO

SUSTANCIA	NORMAS OMS (1971)		NORMAS USPHS (1962)		(1975) NORMAS EP
	Máxima Recomendable	Máxima Permissible	Máxima Recomendable	Máxima Permissible	Máxima Permissible
<u>CARACTERISTICAS FISICAS</u>					
Turbiedad [ U.T ]	5	25	5	-	10
Color [ U.C ]	5	50	15	-	-
Olor y Sabor [U.incipiente]	Ninguno	Ninguno	3	-	-
<u>CARACTERISTICAS QUIMICAS</u>					
Rango de pH	7,0-8,5	6,5-9,0	-	-	-
Dureza Total [mg/l ]	100	500	-	-	-
Zinc "	5,0	15,0	5,0	-	-
Hierro "	0,1	1,0	0,3	-	-
Manganeso "	0,05	0,5	0,05	-	-
Magnesio "	30	150	-	-	-
Calcio "	75	200	-	-	-
Cloruros (como Cl)"	200	600	250	-	-
Fluoruros (como F) "	0,6-1,7	-	0,8-1,7	1,4-2,4	1,4-2,4
Nitratos (como N)"	-	45	45	-	10
Sulfatos "	200	400	250	-	-
Arsénico "	-	0,05	0,01	0,05	0,05
Bario "	-	-	-	1,0	1,0
Cadmio "	-	0,01	-	0,01	0,010
Cromo "	-	-	-	0,05	0,05
Cianuro "	-	0,05	0,01	0,2	-
Plata "	-	-	-	0,05	0,05
Plomo "	-	0,1	-	0,05	0,05
Mercurio "	-	0,001	-	-	0,002
Selenio "	-	0,01	-	0,01	0,01
Cobre "	0,05	1,5	1,0	-	-

Figura 2. Normas de calidad físico-químicas del agua para uso doméstico.

## Tratamiento del agua.

Son los diferentes procesos que se efectúan al agua para acondicionarla al consumo humano.

Los procesos de tratamiento pueden dividirse en cuatro grupos:

1. Procesos de clarificación
2. Procesos de desinfección
3. Acondicionamiento Químico
4. Acondicionamiento organoléptico.

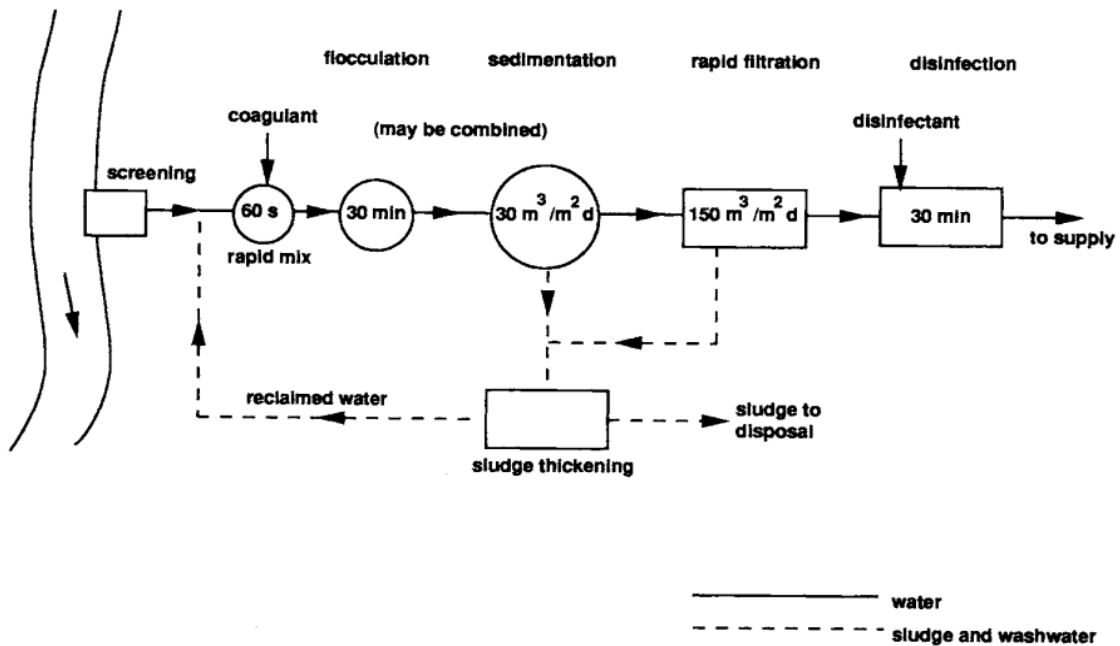
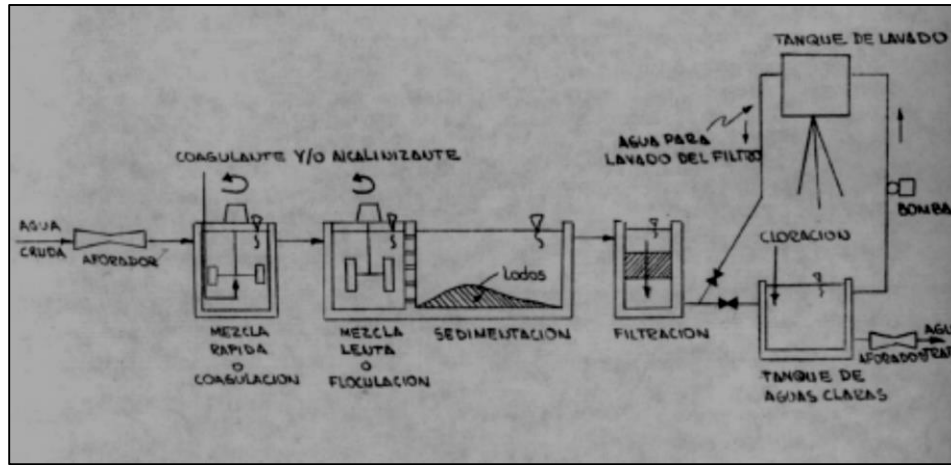


Figura 3. Esquemas generales de tratamiento de agua para su potabilización.

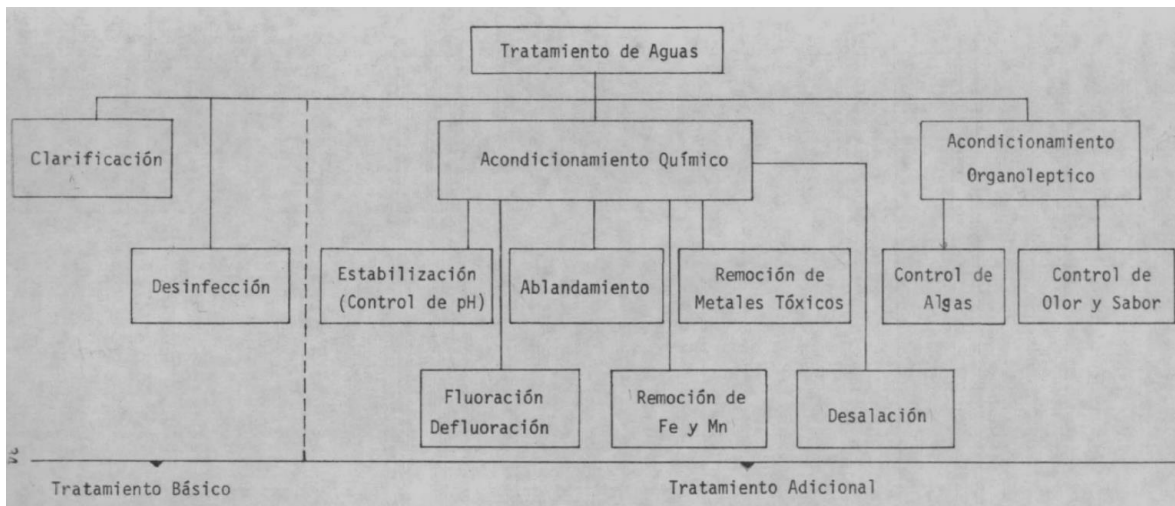


Figura 4. Fases de tratamiento para el agua potable.

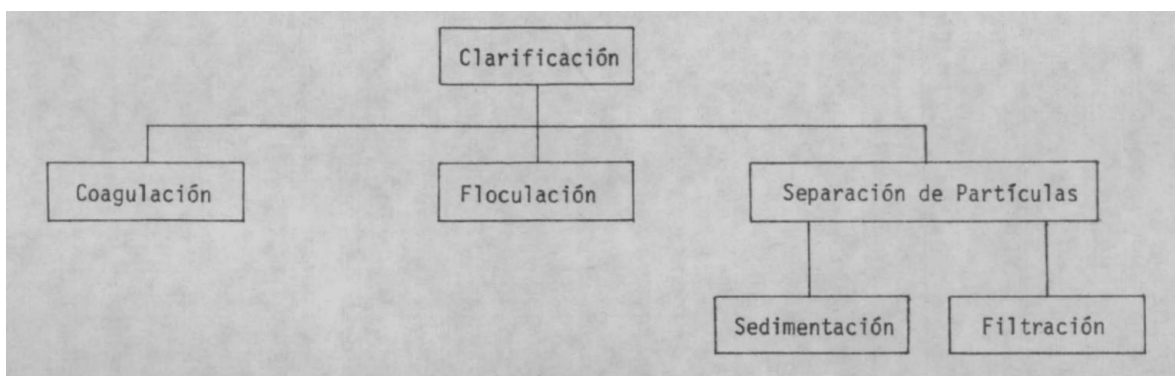


Figura 5. Operaciones unitarias que conforman el proceso de clarificación del agua.

### Coagulación y Floculación.

Se llama coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas que contiene el agua, se aglutinan en pequeñas masas con peso específico mayor que el del agua, llamadas "floc". Dicho proceso tiene como propósito:

- ✓ Remover la turbiedad orgánica e inorgánica
- ✓ Remover el color aparente y verdadero

- ✓ Eliminar bacterias, virus y organismos patógenos
- ✓ Remover algas
- ✓ Eliminar sustancias que producen mal olor y sabor

El uso de cualquier otro proceso, como la sedimentación simple, para remover partículas muy finas resulta antieconómico. Por ejemplo, las partículas de sílice (arena), en parte responsables de la turbiedad, tienen un diámetro del orden de  $10^{-1}$  mm y velocidad de sedimentación del orden de 1 mm/hora.

La turbiedad se debe principalmente a arcillas en dispersión. La arcilla es tierra fina (0,002 mm de diámetro de grano o menos), a veces coloreada, que al mezclarla con poca agua se vuelve plástica. Tienen gran superficie específica y poseen una densidad baja por lo tanto una velocidad lenta de asentamiento.

Las dispersiones se pueden encontrar de diferentes modos:

Moléculas de A disgregadas en la sustancia B: A está en solución en B

Partículas muy pequeñas de A dispersas en la sustancia B: A está en estado coloidal en B.

Partículas relativamente grandes de A flotando en la sustancia B: A está en suspensión en B.

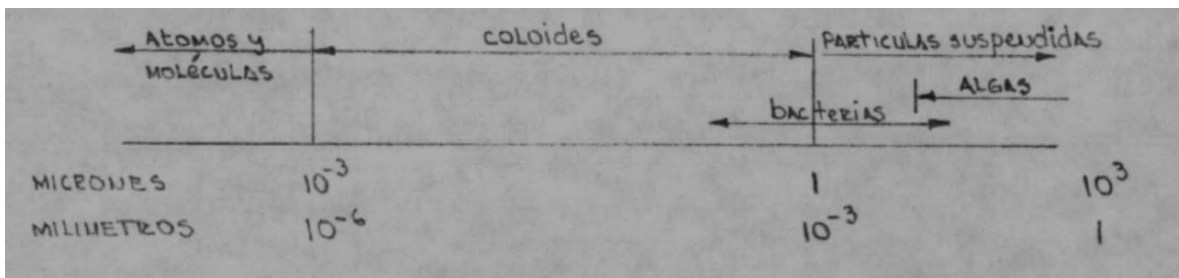


Figura 6. Rango de Tamaño de las partículas suspendidas en el agua

### Aspectos de la coagulación-floculación

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en el proceso de coagulación-floculación:

- La desestabilización de las partículas coloidales es decir la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas.
- El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, estableciendo puentes de hidrogeno entre sí para formar una malla tridimensional porosa o floc.

El primer aspecto se conoce con el nombre de coagulación. El segundo aspecto como floculación.

Coagulación: se efectúa por medio de coagulantes. Comienza en el instante mismo que se agregan los coagulantes y dura fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas, entre la superficie de los coloides, el coagulante, la alcalinidad y el agua misma.

Dos modelos explican la coagulación

- ✓ Doble capa: fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión
- ✓ Puente químico: establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides.

Fases de la coagulación (Figura7).

1. Hidrolisis del coagulante y desestabilización de partículas coloidales
2. Precipitación y formación de polímeros (los productos de hidrolisis se polimerizan)
3. Adsorción de las cadenas por la superficie de los coloides
4. Adsorción mutua ente coloides
5. Acción de barrido

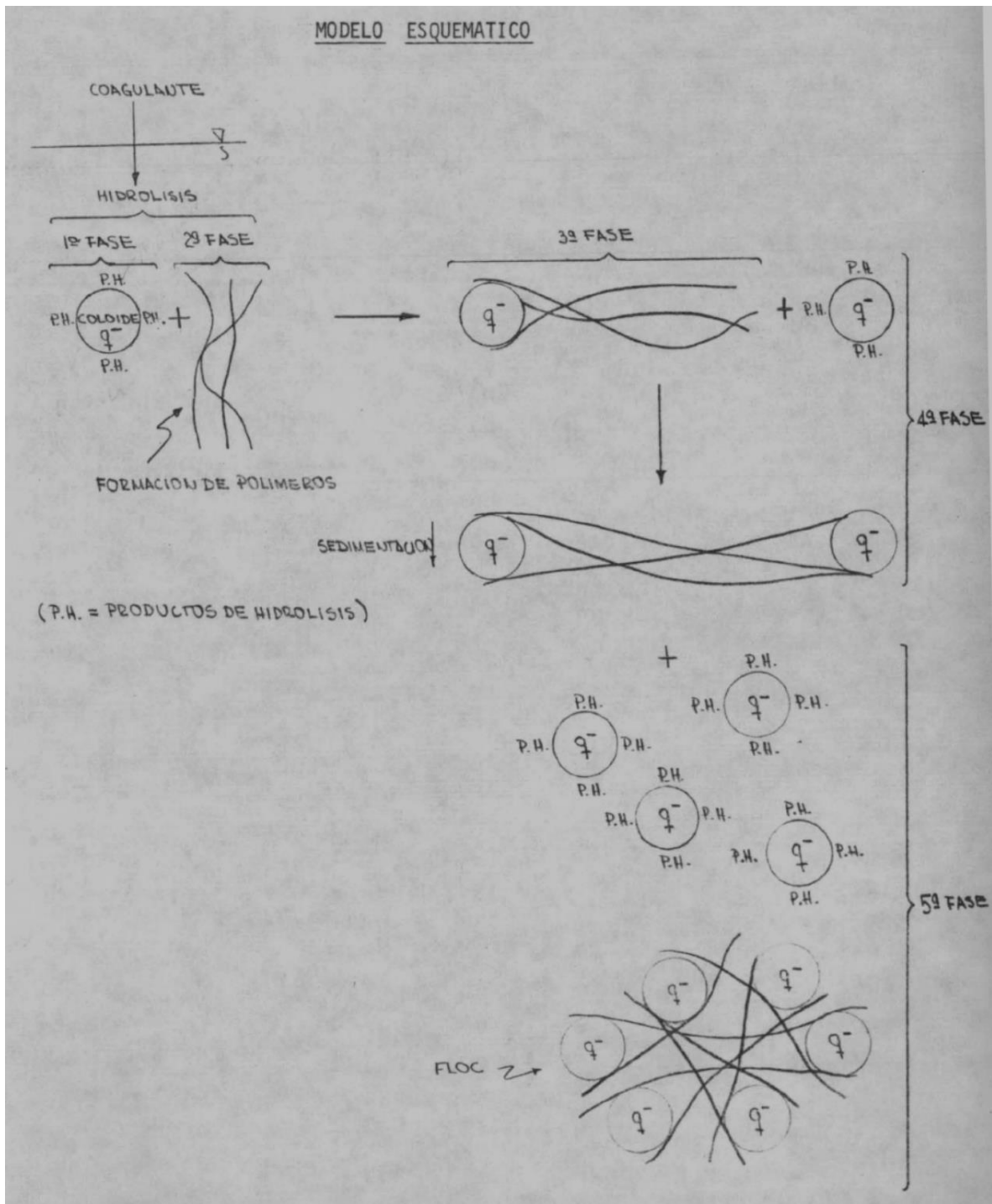


Figura 7. Fases de la coagulación.

La aplicación de agentes coagulantes atiende a la remoción de turbiedad y color, la dosis puede ser estimada mediante pruebas de jarras en el laboratorio.

Los coagulantes se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Los polielectrolitos: derivados del almidón y la celulosa, de tipo sintético o natural.

Los coagulantes metálicos: sales de aluminio (alumbre), sales de hierro (cloruro férrico, sulfato férrico o ferroso). Las sales de aluminio operan en un pH alcalino para ello es necesario ajustar este valor con cal viva o apagada, los floc liviano que al descender atrapan partículas de turbiedad. Tiene la ventaja de ser económico. Las sales de hierro tienen ciertas ventajas sobre las sales de aluminio, como formar un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento, pueden trabajar en un de pH más amplio.

En una planta de potabilización el proceso de coagulación-floculación se efectúa en dos etapas:

Mezcla rápida o coagulación: Consiste en la dispersión rápida del coagulante en toda la masa de agua, mediante una agitación violenta para lograr que el compuesto, esté casi inmediatamente en contacto con todos los coloides y los desestabilice.

Mezcla Lenta o floculación: para que el floc se forme, es necesario que las partículas choquen unas con otras, a fin de que se aglutinen y formen granos pesados. Esto se consigue promoviendo el choque entre las partículas desestabilizadas mediante una mezcla suave.

### Métodos para realizar la coagulación

Se puede realizar de dos maneras:

Mezcladoras de flujo pistón (canaleta de parshall, salto hidráulico, tubo venturi)

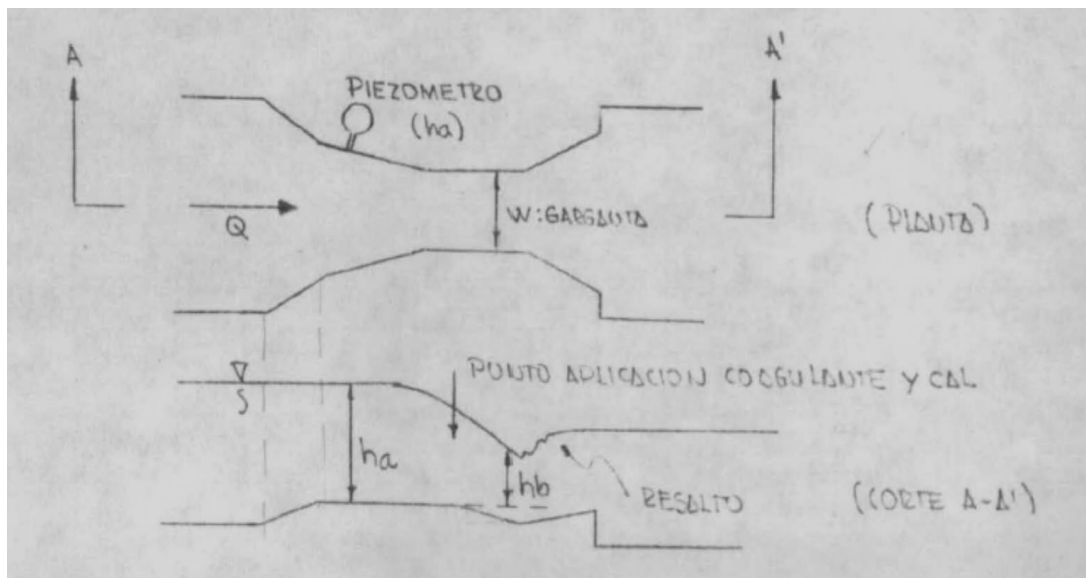


Figura 8. Canaleta Parshall

Retromezcladores (mezclador mecánico de hélice, turbina)

En los primeros, el coagulante se agrega al pasar el agua por un punto determinado en el cual se produce una fuerte turbulencia inducida por una estructura hidráulica.

En los segundos, el agua es retenida en un tanque por un tiempo residencia (10 a 60 s) donde se aplican los coagulantes, mientras se agita con una turbina.

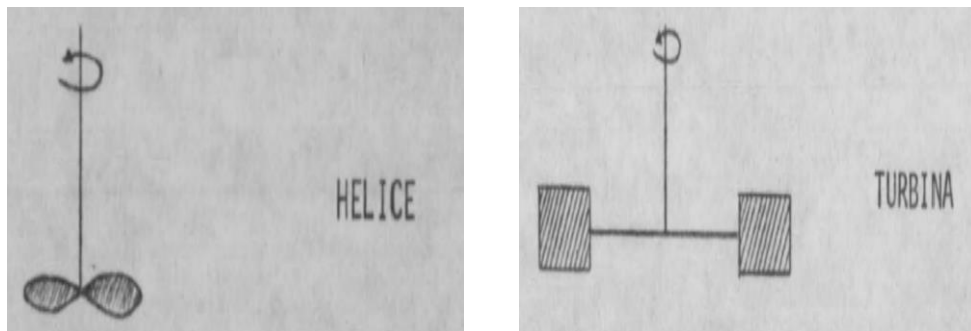


Figura 9. Tipos de agitadores usados en la coagulación.

Floculación. Tres características deben tenerse en cuenta en la floculación

1. Forma de producir la agitación
2. El gradiente de velocidad
3. El tiempo de detención

Los objetivos básicos que se persiguen son



- Reunir los microfloculos para formar partículas con peso específico mayor que el del agua.
- Compactar el floc disminuyendo su grado de hidratación; baja concentración volumétrica lo que permite alta eficiencia de los procesos de sedimentación y filtración.

Los floculadores se pueden clasificar según la energía utilizada para producir agitación en:

1. Hidráulicos
2. Mecánicos

Los primeros, según el sentido de flujo, se clasifican en

De flujo horizontal: canal de tabiques intercalados lado a lado

De flujo vertical: canal con tabiques colocados arriba y abajo.

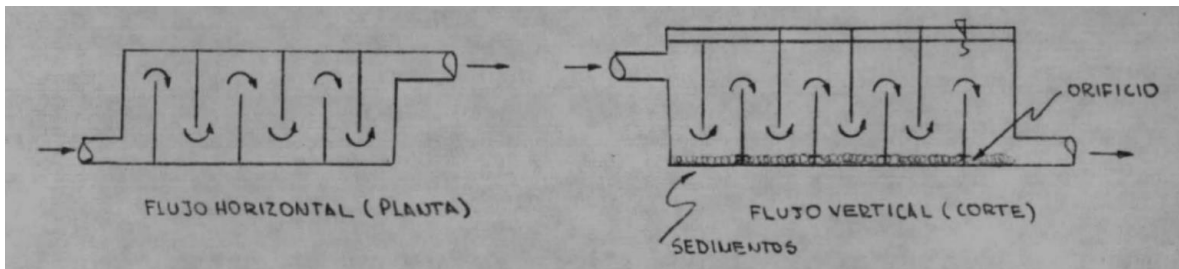


Figura 10. Floculadores hidráulicos más comunes.

Por razones estructurales se prefiere el de flujo horizontal.

Los segundos, según el sentido de movimiento del agitador se clasifican en:

Rotatorios: paletas giratorias de eje horizontal o vertical

Reciprocantes: paletas oscilantes.

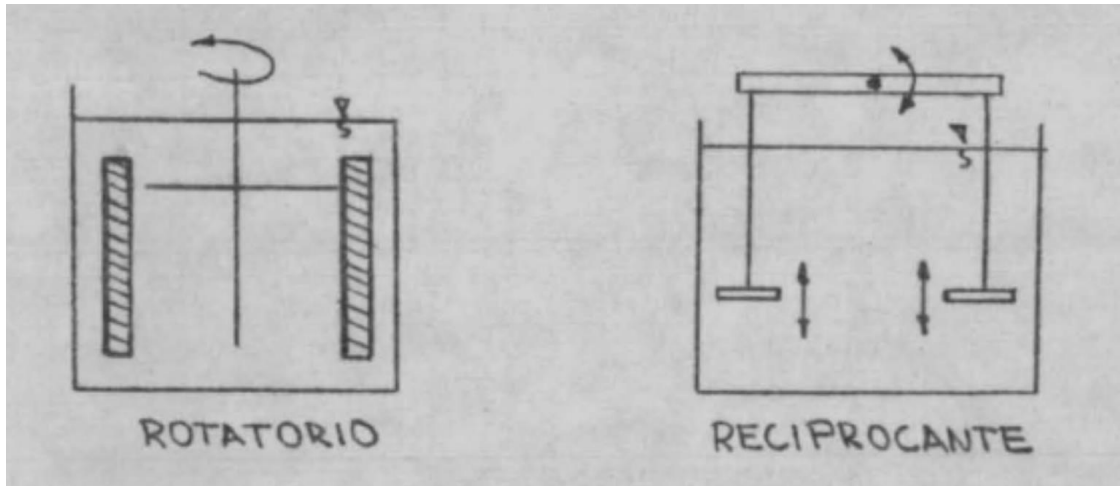


Figura 11. Tipos de flocladores mecánicos según el sentido del movimiento.

Son más utilizados los rotatorios porque mecánicamente son de funcionamiento más sencillo.

Lo que se hace en la práctica es dividir el floclador, sea hidráulico o mecánico en varios compartimientos de forma que el gradiente de velocidad se haga menor en cada una de las cámaras:  $G_1 > G_2 > G_3$

Donde:  $G_1$  : gradiente en la primera cámara  
 $G_2$ : gradiente en la segunda cámara  
 $G_3$ : gradiente en tercera cámara

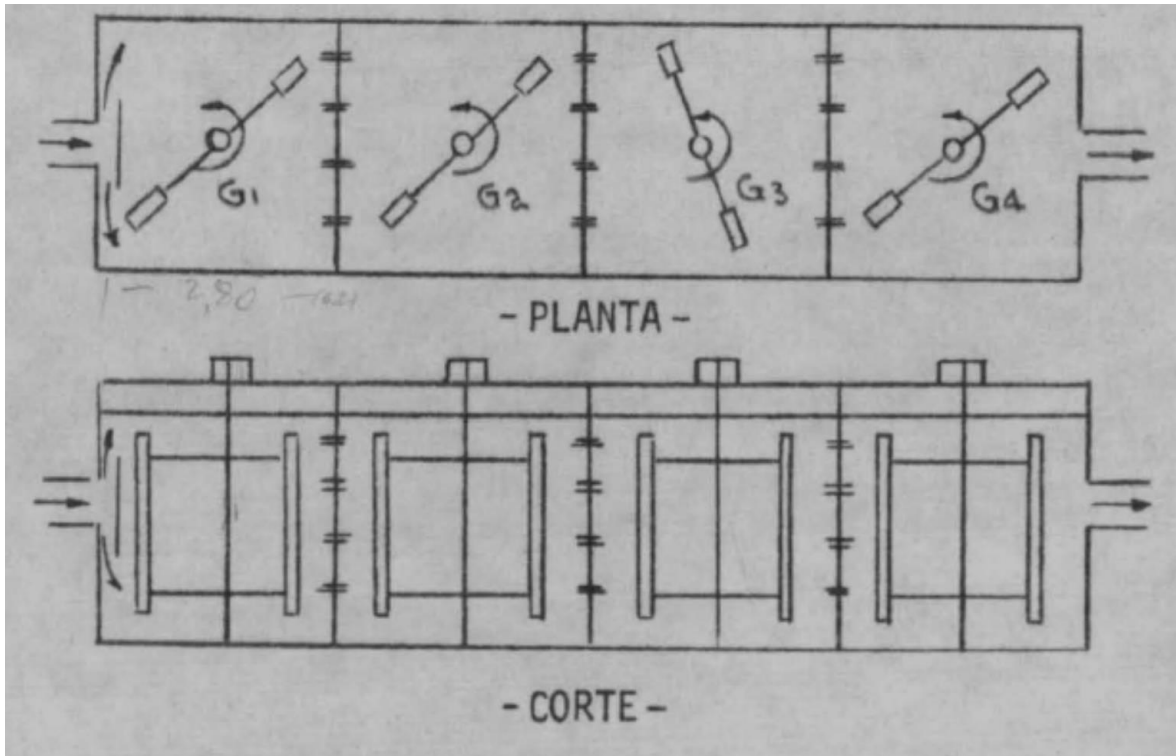
La razón de esto tiene que ver con el hecho de que el floc es cada vez más pesado, por ende puede romperse más fácilmente con el cizallamiento.

En un canal de tabiques esto se consigue definiendo la separación entre tabiques, por zonas: menor separación en la 1ª zona que en la 2ª zona y así sucesivamente. La velocidad promedio del fluido puede variar entre 0,1 m/s a 0,6 m/s, ya que:

Velocidad  $< 0,1$  m/s : sedimentación del floc  
Velocidad  $> 0,6$  m/s : rompimiento del floc

El gradiente debe estar comprendido entre  $10$  a  $100$   $s^{-1}$ , más comúnmente entre  $30$  y  $60$   $s^{-1}$ .

Los tiempos de detención están en un rango de  $15$  a  $20$  min.



**Figura 12. Múltiples unidades de floculación.**

Sedimentación:

Una vez coagulada y floculada el agua, el problema consiste en separar los sólidos del líquido, es decir las partículas floculentas del agua, donde están suspendidas.

Se puede conseguir por medio de:

1. Sedimentación
2. Filtración
3. Combinación de ambos procesos, que es lo más utilizado.

La sedimentación y la filtración deben considerarse como procesos complementarios. En la sedimentación se realiza la separación de partículas más densas que el agua y que tengan una velocidad de sedimentación que le permitan llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable. La filtración, por el contrario, separa aquellas partículas con densidades próximas a las del agua y de baja velocidad de sedimentación o que son resuspendidas por cualquier causa.

La sedimentación se denomina al proceso mediante el cual se asientan los sólidos suspendidos en un fluido, bajo la acción de la gravedad.

La sedimentación puede ser simple o inducida. En el primer caso las partículas se asientan son discretas, no cambian de forma, tamaño y densidad durante el descenso en el fluido. La sedimentación inducida se establece cuando las partículas son aglomerables cambiando de forma, tamaño y aumentando de peso específico.

### Tipos de sedimentación

La sedimentación simple se produce, por ejemplo, en un tanque desarenador que se coloca en la bocatoma y cuyo objetivo es separar la arena del agua.

La sedimentación inducida se presenta en una planta de tratamiento y se logran en un tanque llamado sedimentador o decantador, que se coloca a continuación del floculador y que permite la separación de las partículas floculentas que se forman en los procesos de coagulación y floculación.

Según el sentido de flujo del agua en los sedimentadores, estos pueden ser de flujo horizontal, de flujo vertical y manto de lodos, y sedimentadores de alta rata. Dentro de los primeros están los sedimentadores de plantas convencionales y los desarenadores. Los segundos, según la forma de mantener el manto suspendido, son hidráulicos o mecánicos.

La sedimentación de alta rata es la concepción moderna del diseño de los sedimentadores.

### Sedimentación simple.

$$V_s = \frac{g}{18} \left( \frac{\rho_s - \rho}{\mu} \right) \frac{d^2}{\nu}$$

### Ley de Stoke

La anterior es la ecuación de Stokes, de la cual se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- A mayor tamaño de partícula, mayor velocidad de sedimentación
- A mayor temperatura, mayor velocidad de sedimentación, porque decrece la viscosidad.

Lo anterior quiere decir que un sedimentador debe diseñarse para la mínima temperatura esperada del agua y para un determinado tamaño mínimo de partícula, lo cual garantiza que se remuevan totalmente las partículas mayores que ésta.

### Sedimentador de flujo horizontal.

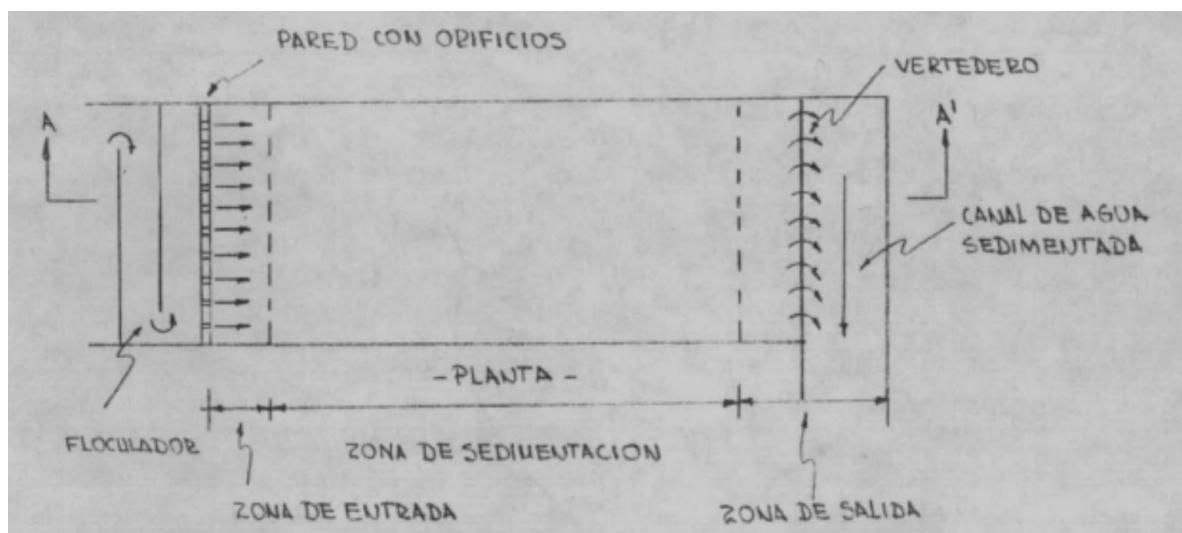
Se tienen las siguientes zonas para su funcionamiento:

Zona de entrada Distribuye a los sedimentadores el flujo proveniente de los floculadores de forma que la velocidad sea uniforme en toda la sección transversal. Además minimiza las corrientes (la turbulencia)

Zona de sedimentación: Cuyo régimen de flujo y area superficial permite la sedimentación de la partícula de diseño y las de velocidades iguales o mayores que ésta.

Zona de lodos: zona adicional utilizada para almacenar los lodos hasta el momento que se retiren del sedimentador.

Zona de salida: recoge uniformemente el flujo de salida de forma que la velocidad no varíe a lo ancho del sedimentador.



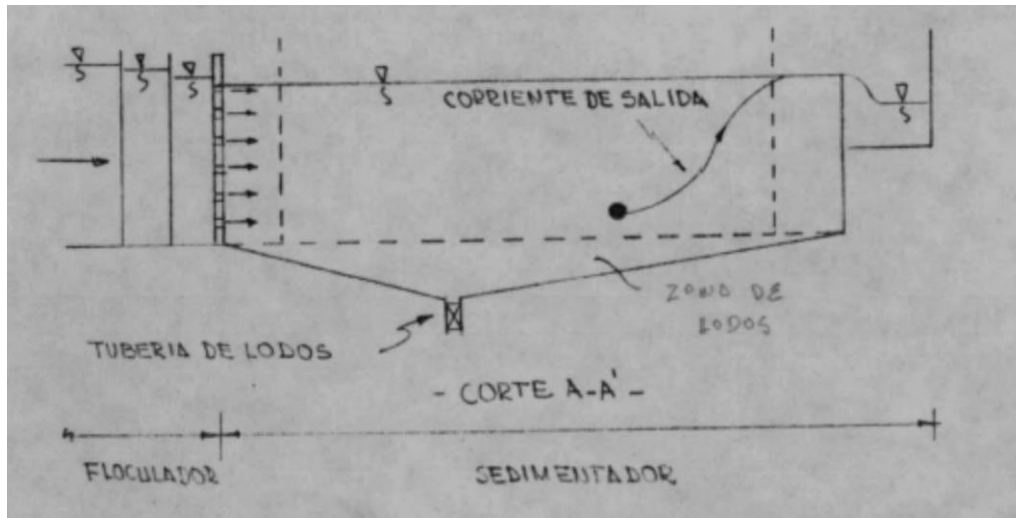


Figura 13. Vista superior y transversal de un sedimentador de flujo horizontal

La teoría del funcionamiento de la zona de sedimentación se basa en las siguientes suposiciones simplificadas:

1. El asentamiento tiene lugar exactamente como sucedería en un recipiente con fluido en reposo de la misma profundidad.
2. La concentración de las partículas a la entrada de la zona de sedimentación es homogénea, es decir, la concentración de partículas en suspensión de cada tamaño es uniforme en toda la sección transversal perpendicular al flujo.
3. La velocidad horizontal del fluido en el sedimentador está por debajo de la velocidad de arrastre de los lodos, por lo tanto, una vez que una partícula llegue al fondo, permanece allí.

Se llama partícula crítica aquella que tiene una velocidad de sedimentación  $V_{sc}$  tal que si se encuentra a ras con la superficie líquida al pasar de la zona de entrada a la zona de sedimentación, llegara al fondo del tanque rectangular justo cuando la masa de agua que la transporta pasa de la zona de sedimentación a la zona de salida.

Todas las partículas que tengan una velocidad de sedimentación,  $V_{si}$ , igual o mayor que  $V_{sc}$ , quedan sedimentadas y llegan a la zona de lodos:

$$V_{si} \geq V_{sc} \text{ partículas } 100\% \text{ removidas.}$$

Parámetros de diseño.

Valores de  $V_{sc}$  13 a 60  $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{dia})$  flóculos de sulfato de aluminio.

Las profundidades varían entre 3 a 5 m, comúnmente 3,5 a 4,5 m debido entre otras cosas a que las estructuras de concreto reforzado son económicas en ese rango.

La relación largo/ancho 3 a 5. Baja relación se busca economía y alta relación eficiencia de separación.

Existe una velocidad horizontal por encima de la cual se produce arrastre de las partículas ya sedimentadas. Por tanto la velocidad horizontal debe ser menor que

la de arrastre. Para flóculos de aluminio o de hierro, velocidad horizontal menor a 0,5 cm/s.

El número de unidades en planta debe ser por lo menos de dos, de forma que cuando se saque uno de servicio (limpieza, reparación) otro esté operativo.

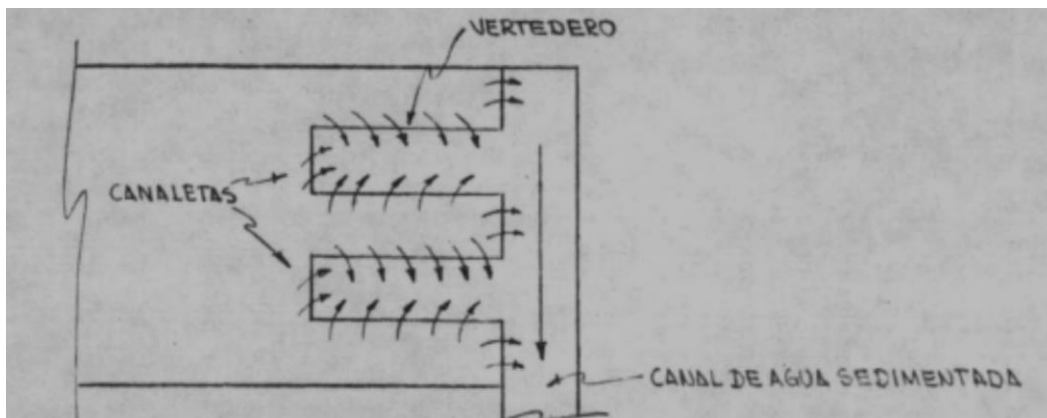
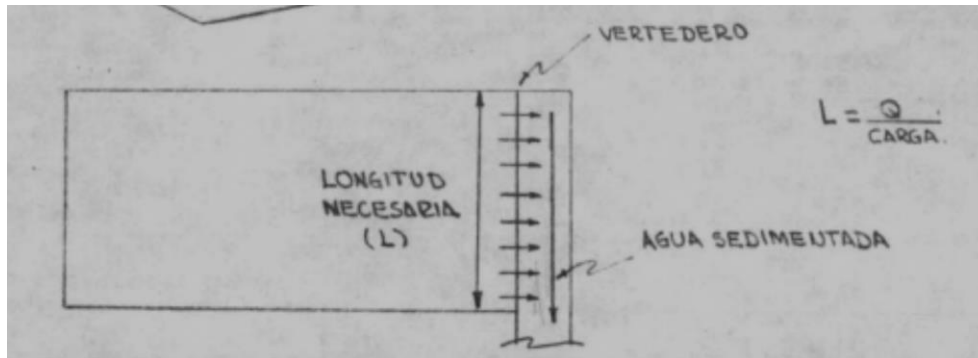


Figura 14. Formas de los vertederos comúnmente usados en sedimentadores.

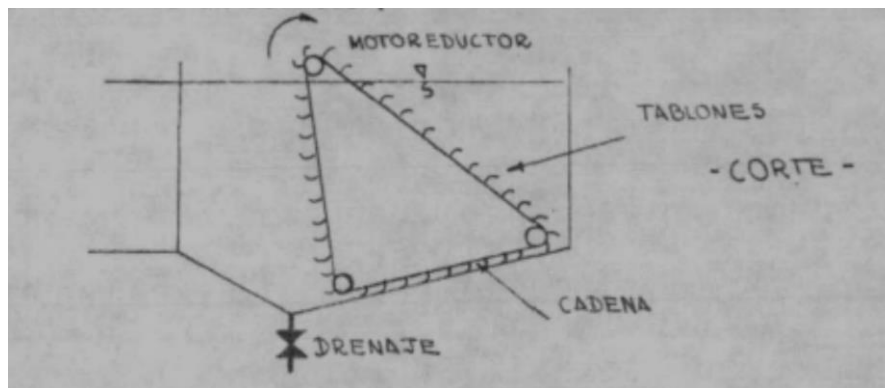
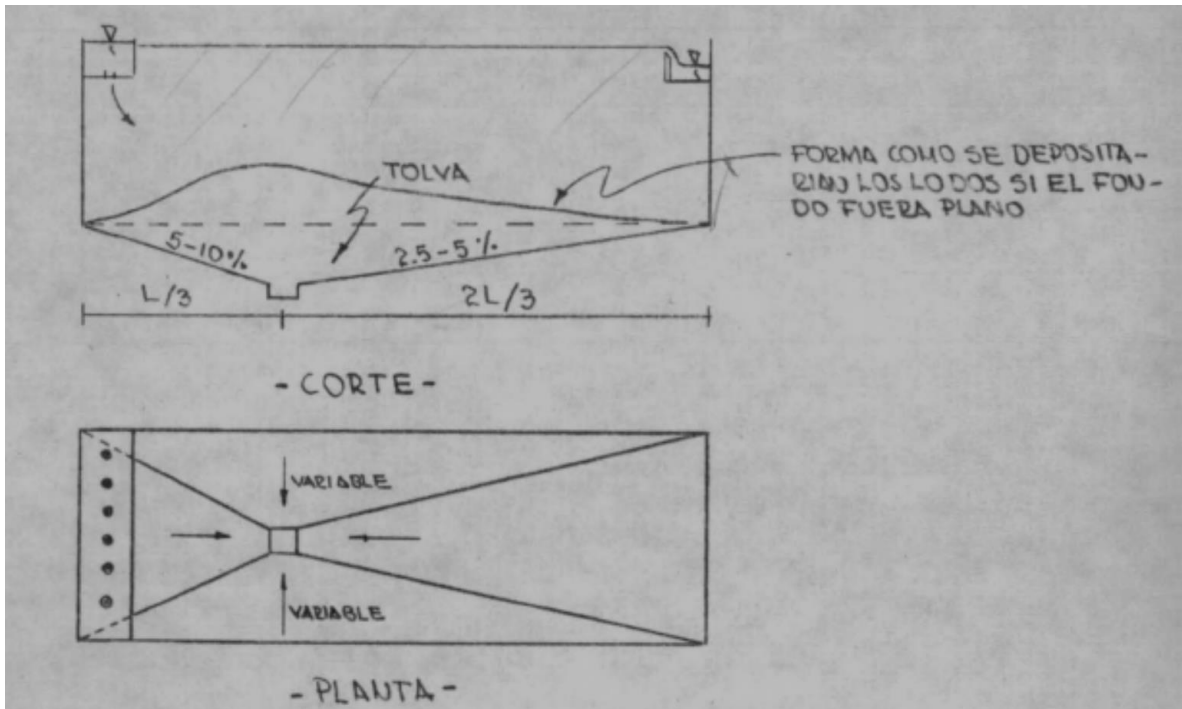


Figura 15. Zona de lodos y mecanismo de remoción de lodos.



## Filtración

Definición: hacer pasar el agua por un lecho poroso para separar las partículas y microorganismos objetables que no han quedado retenidos en el proceso de sedimentación.

El proceso de filtración ocurre en dos etapas distintas pero complementarias:

1. El transporte de partículas dentro de los poros, mecanismo físico.
2. Adherencia de ellas a los granos del medio filtrante, mecanismo químico.

Transporte. (Figura 16).

Los mecanismos relacionados al transporte se tienen:

Cernido: cuando las partículas suspendidas son de mayor tamaño que los poros del lecho filtrante, quedan atrapados en los intersticios.

Intercepción: parte de la remoción del floc se debe a que se establece un contacto entre las partículas floculentas y los granos del medio filtrante. Es decir, los floc se pegan a la superficie de los granos.

Difusión: debido al movimiento browniano, existe una tendencia de las partículas pequeñas a difundirse desde zonas de alta concentración a zonas de baja concentración.

Impacto inercial: cuando el agua pasa alrededor de los granos del medio filtrante, la inercia de las partículas que ella contiene hace que tiendan a seguir trayectorias rectilíneas, chocando con los granos y quedando adheridas a ellos.

Sedimentación: Los granos del medio filtrante tienen un área relativamente grande donde los sólidos suspendidos pueden quedar depositados por sedimentación.

Adherencia.

Los factores químicos y electroquímicos son fundamentales. Las fuerza Van der Waals, fuerzas electrostáticas, y puentes químicos debido a las cadenas poliméricas.

## Tipos de Filtración.

La filtración puede efectuarse en muchas formas distintas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en diferentes medios porosos (arena, antracita, granate, etc) empleando solo un medio (lecho simple) o varios medios (lecho mixto), con flujo ascendente o descendentes; por último el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante.

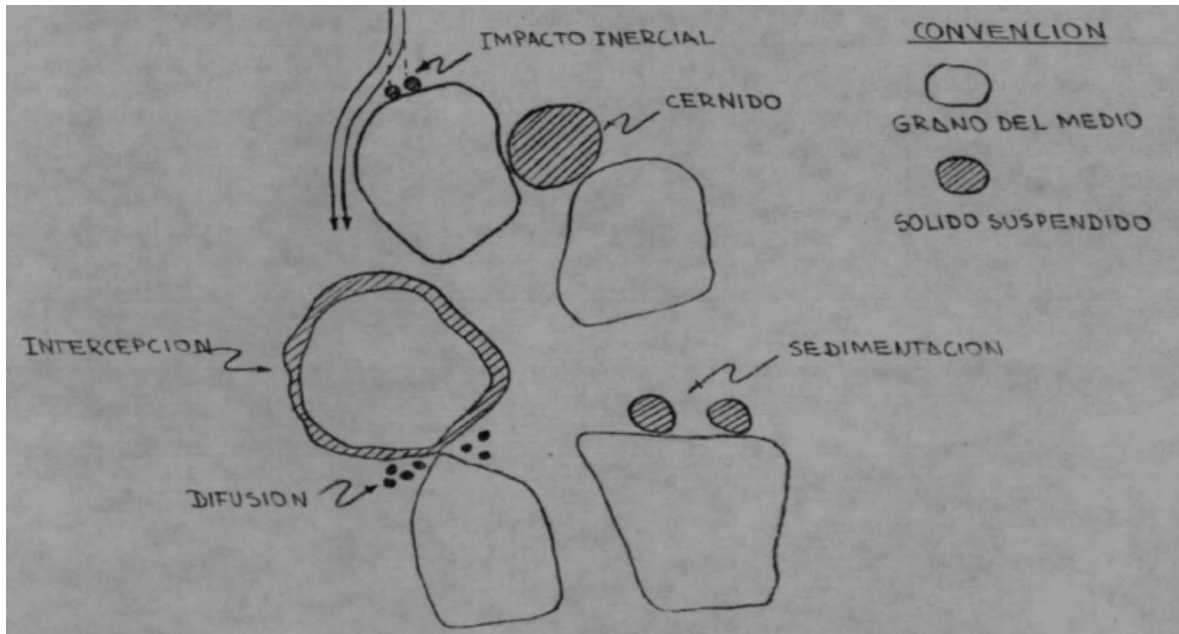


Figura 16. Mecanismos de transporte de partículas dentro de los poros de un filtro.

### Funcionamiento de un filtro.

El agua sedimentada es conducida y repartida al filtro mediante un canal de orificios. Con el filtro inicialmente está limpio, el agua adquiere en la caja de filtro un nivel mínimo suficiente para vencer las pérdidas por fricción que se generan con el paso del agua a través del lecho filtrante, la grava de soporte y el falso fondo. Con el transcurso del tiempo, el lecho filtrante se va obstruyendo paulatinamente, generando cada vez más pérdida de carga hasta que el agua alcanza su nivel máximo dentro del filtro. Antes de que esto suceda, se procede al lavado del filtro. Para ello se cierran los orificios de entrada y la válvula de la tubería de agua filtrada, se abre la válvula de la tubería de evacuación de agua de lavado y se inyecta agua en sentido contrario (ascendente) a una cierta velocidad con lo cual el lecho filtrante se expande y el material retenido es arrastrado hasta las canaletas de recolección de agua de lavado. Realizada la limpieza, el filtro queda listo para otra jornada de filtración.

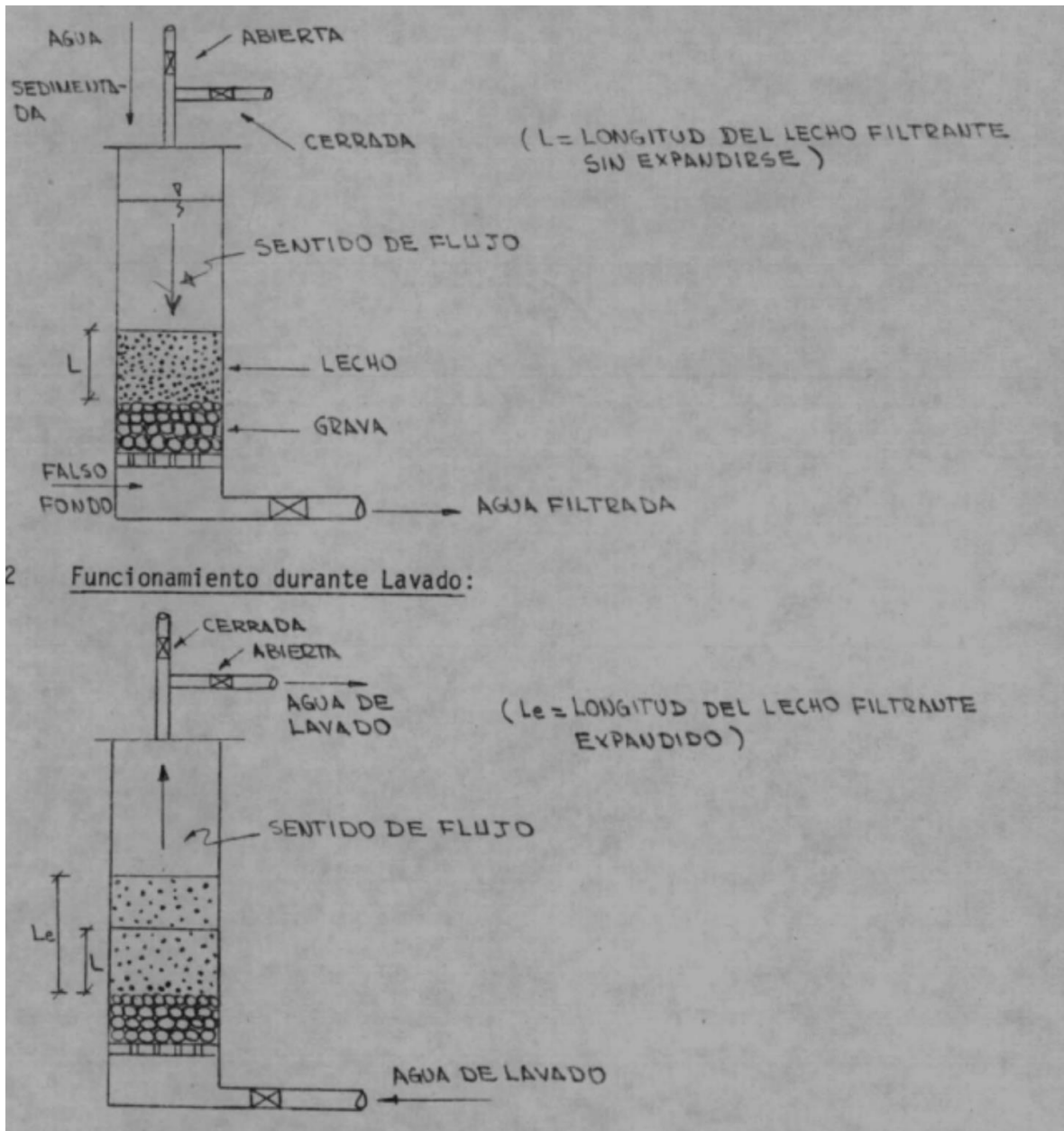


Figura 17. Partes de un filtro. Proceso de retrolavado.

El lecho filtrante está constituido, por un material granular como arena y/o antracita.

### Forma y dimensión de los filtros.

Los filtros usualmente son de planta cuadrada o rectangular. Las dimensiones en planta (ancho y largo) son establecidas teniendo en cuenta lo siguiente:

- 1- Que la geometría de los filtros se acomode al esquema general de la planta, tratando de aprovechar los muros de las otras unidades, con lo que se logra máxima economía de la estructura.
- 2- Tipo de lavado auxiliar: cuando se hace lavado superficial, los dispositivos de lavado condicionan las dimensiones de los filtros
- 3- El espaciamiento y las dimensiones de las canaletas de recolección del agua de lavado.
- 4- Tipo de falso fondo utilizado

La profundidad es función de lo siguiente:

Altura del falso fondo

Altura de la grava y el lecho filtrante

Altura de la lámina de agua sobre el lecho filtrante

Altura del borde libre

### Numero de filtros.

El número de unidades depende del tamaño que se quiera dar a cada una y la tasa de filtración con que se quiera trabajar, para un determinado caudal de diseño. Lo más económico sería hacer una sola unidad, pues el número de tabiques, válvulas, etc sería mínimo. Sin embargo, por razones de operación, hay que hacer por lo menos 3 unidades, excepcionalmente 2, cuando se usa lavado convencional (agua proveniente de un tanque) y por lo menos 4 cuando se lava un filtro con el flujo de los otros (sistema autolavante), de manera que aun cuando una unidad estuviera fuera de servicio por reparación y otra se estuviera lavando, aun quedaría una o dos trabajando.

### Cloración

Se entiende por desinfección aquel método que permite la destrucción de los agentes capaces de producir infección, mediante la aplicación directa de medios físicos y químicos. La desinfección no implica la destrucción total de la flora acuática y por eso se distingue de la esterilización.

Existen formas microbianas, como las esporas de amibas, por ejemplo, que no son afectadas por los medios corrientes de desinfección.

La cloración, agregar cloro al agua, es la practica universalmente empleada para la desinfección del agua desde hace mucho tiempo, por su economía y manejabilidad.

La experiencia ha demostrado que el cloro y sus compuestos son activos desinfectantes para la destrucción de la flora bacteriana, especialmente para la de origen entérico.

En resumen las razones por las que se usa cloro son:

- Fácil aplicación
- Bajo costo

- Inocuo en las concentraciones necesarias en el agua para consumo humano.
- Facilidad para mantener un cloro residual en la red de distribución, para prevenir recontaminación del agua.

### Factores que influyen en la acción del cloro

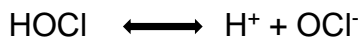
Naturaleza de los microorganismos que van a destruirse  
 Grado de concentración de estos microorganismos  
 Tiempo de contacto entre el desinfectante y los microorganismos  
 Concentración y composición del producto o agente químico utilizado  
 Temperatura del agua  
 pH del agua  
 Concentración y composición de las impurezas presentes en el agua.

Cuando se agrega cloro al agua, ocurren dos tipos de reacción:

Hidrolisis:



Ionización



Estas ecuaciones son de equilibrio y dependen del pH.

El cloro presente en el agua en forma de  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$  y  $\text{OCl}^-$ , se llama cloro residual libre, CRL. El Cloro Residual Combinado, CRC, se forma cuando el cloro en solución, reacciona con el amoníaco y los compuestos nitrogenados orgánicos presentes en el agua formando compuestos llamados cloroaminas, siendo sus principales formas la monocloramina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), dicloroamina ( $\text{NHCl}_2$ ) y tricloroamina ( $\text{NCl}_3$ ). Tienen un poder desinfectante menor que el CRL.

### Demanda de Cloro.

Representa la diferencia entre la cantidad de cloro agregado al agua y la cantidad de cloro residual, libre o combinado, después de un periodo de retención determinado.

Cloración a residual combinado es la aplicación de cloro al agua en una cantidad tal que produzca con el amoníaco, natural o agregado, un cloro residual combinado disponible para mantenerlo en los tanques de almacenamiento y en la red de distribución. Puede formarse adicionalmente una pequeña cantidad de cloro residual libre.

Cloración a residual libre es la aplicación de cloro al agua para producir directamente, o a través de la destrucción del amoniaco, un Cloro Residual Libre para mantenerlo en los tanques de almacenamiento y en la red de distribución.

Se ha observado que cuando se agrega cloro al agua, inicialmente no se presenta cloro residual puesto que el cloro reacciona con compuestos minerales presentes en ella, oxidándolos. Posteriormente comienza a aparecer el cloro residual, el cual va aumentando hasta un valor máximo para luego comenzar a descender, a causa de la formación de productos volátiles, hasta un punto de mínimo cloro residual libre llamado 'punto de Quiebre'

La localización de dicho punto depende fundamentalmente de la cantidad de amoniaco contenido en el agua. La dosis teórica de cloro requerida para lograr el punto de quiebre es de 7,5 a 10 veces la cantidad de amoniaco en el agua. En la práctica en cambio, se requiere de 10 a 25 veces más de cloro, debido a la presencia de materia orgánica. Antes de llegar al punto de quiebre casi todo el cloro residual presente en el agua se encuentra como CRC y pasando el punto de quiebre todo el cloro residual se encuentra como CRL.

La Figura 18 representa la relación entre el cloro aplicado al agua y el cloro residual, correspondiente al agua destilada, agua con materia orgánica y agua con materia orgánica y amoniaco.

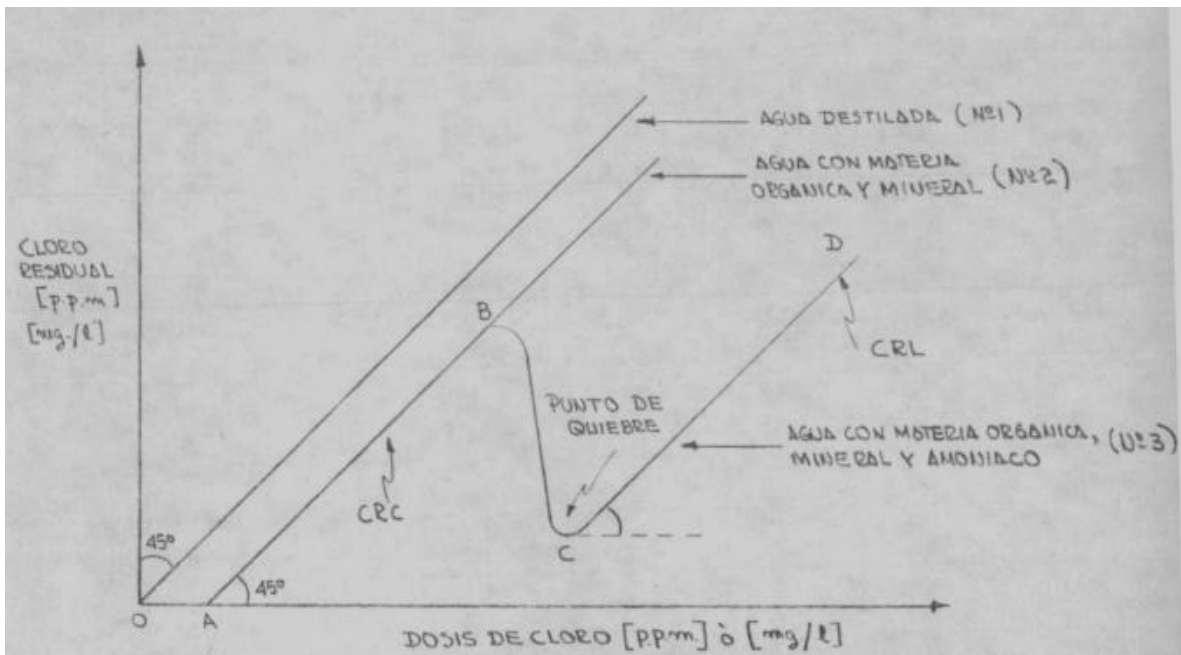


Figura 18. Diagrama de cloro residual.

La gráfica resultante para el agua destilada N°1, es una recta de 45° por cuanto el agua destilada no tiene demanda de cloro, y el cloro agregado es igual al cloro residual.

La grafica resultante para el agua con materia orgánica e inorgánica N°2, muestra en la OA un consumo de cloro correspondiente a la oxidación de la materia inorgánica oxidable, y luego en la sección AB se desplaza a 45° paralelamente a la recta anterior.

La curva N°3 representa el proceso de cloración cuando el agua contiene materia inorgánica, orgánica y amoníaco. La sección OA de la curva corresponde a la reacción del cloro con la materia orgánica y el amoníaco, encontrándose en esta sección solo cloraminas como cloro residual

En el punto B se produce una rápida caída del cloro residual hasta llegar a la punto C, que representa el punto de quiebre o de menor cloro residual. Las reacciones que se producen entre B y C son bastantes complejas, originándose  $N_2$ ,  $N_2O$  y  $NCl_3$  que se volatilizan. La sección CD, corresponde a la formación de CRL en proporción directa a la cantidad de cloro agregado. La importancia de dosificar a cloro residual libre es que esta forma de cloro en el agua tiene mayor poder desinfectante.

La dosis de cloro para lograr en el agua el punto de quiebre es ordinariamente de 3 a 7 ppm.

### Puntos de aplicación del cloro.

El término de cloración se refiere al cloro que se aplica al agua, y según el punto de aplicación, se denomina:

Cloración simple: se define como la aplicación de cloro al agua sin que esta reciba otro tratamiento.

Precloración: aplicación de cloro al agua, anterior a cualquier otro tratamiento. Tiene como ventajas: mejora la coagulación, retarda o evita la descomposición de lodos en los sedimentadores, controla algas y otros microorganismos, elimina olores y sabores oxidando la materia orgánica y reduce el crecimiento biológico en los filtros. Se debe aplicar cuando las condiciones del afluente a la Planta de Tratamiento lo hagan necesario.

Poscloración: es la aplicación de cloro al agua después de cualquier otro tratamiento. Generalmente se aplica después de la filtración. En el caso más común de las plantas potabilizadoras el cloro es aplicado en el tanque que recibe el agua filtrada, que puede ser el mismo tanque de distribución o un tanque de contacto que retenga el agua por espacio de 10 a 20 minutos para permitir que el cloro ejerza su poder desinfectante. Para evitar los cortocircuitos, se pueden colocar baffles al tanque de forma similar a los floculadores de flujo horizontal con tabiques (Ver Figura 19).

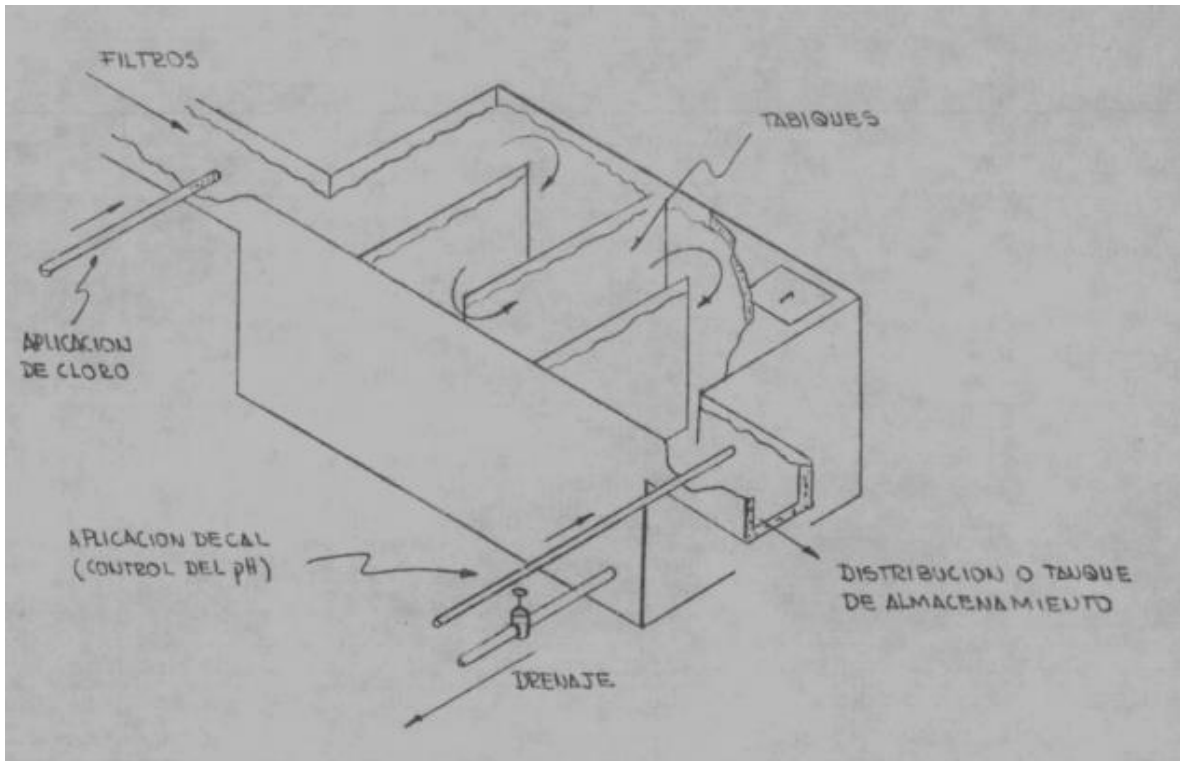


Figura 19. Proceso de poscloración.

Recloración: Se aplica en cualquier punto del sistema de distribución como por ejemplo al final de líneas troncales muy largas, tanques de almacenamiento alejados de la planta, estaciones de bombeo, etc. , con el objeto de garantizar la dosis de cloro residual necesaria, contra posibles contaminaciones futuras.

### Aguas Residuales

Las cuatro fuentes de aguas residuales son (1) aguas domésticas o urbanas, (2) aguas residuales industriales, (3) escorrentías de usos agrícolas, (4) pluviales. Las aguas de usos agrícolas que arrastran fertilizantes (fosfatos) y pesticidas están empezando a constituir una de las causas mayores de eutrofización de lagos y pantanos. Las aguas pluviales en zonas urbanizadas también pueden tener unos efectos contaminantes significativos. Normalmente las aguas residuales, tratadas o no, se descargan finalmente a un receptor de aguas superficiales (mar, río, lago, etc.) que se considera medio receptor.

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente. En la Figura 20 se presenta una clasificación de los procesos de tratamiento de aguas residuales. El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, impuesta por los límites, tanto de descarga del medio receptor como para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario, bien directamente o pasando por una neutralización u homogeneización. El tratamiento



secundario comprende tratamientos biológicos convencionales. En cuanto al tratamiento terciario su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales.

*Tipos de tratamiento de aguas residuales*

---

*Tratamiento primario*

Cribado o desbrozo  
Sedimentación  
Flotación  
Separación de aceites  
Homogeneización  
Neutralización

*Tratamiento secundario*

Lodos activos  
Aireación prolongada (procesos de oxidación total)  
Estabilización por contacto  
Otras modificaciones del sistema convencional de lodos activos: aireación por fases, mezcla completa, aireación descendente, alta carga, aireación con oxígeno puro  
Lagunaje con aireación  
Estabilización por lagunaje  
Filtros biológicos (péroladores)  
Discos biológicos  
Tratamientos anaerobios: procesos de contacto, filtros (sumergidos)

*Tratamiento terciario o «avanzado»*

Microtamizado  
Filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas...)  
Precipitación y coagulación  
Adsorción (carbón activado)  
Intercambio iónico  
Ósmosis inversa  
Electrodiálisis  
Cloración y ozonización  
Procesos de reducción de nutrientes  
Otros

---

Figura 20. Clasificación de los tratamientos de aguas residuales.

Los contaminantes en las aguas residuales son normalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Normalmente no es práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de las aguas residuales.

Los métodos analíticos para contaminantes inorgánicos específicos en aguas residuales y la determinación de parámetros físicos se tiene referencias.

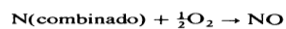
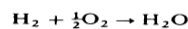
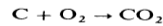
En el caso de contaminantes orgánicos se utilizan dos grandes grupos dos métodos analíticos:

Grupo 1. Métodos de evaluación para la demanda de oxígeno

1. Demanda teórica de oxígeno DteO: corresponde a la cantidad estequiométrica de oxígeno requerida para oxidar completamente un determinado compuesto.
2. Demanda química de oxígeno DQO: corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o al permanganato de potasio, en medio ácido.
3. Demanda bioquímica de oxígeno DBO: se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación

bioquímica aerobia. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de tres tipos de materiales: (1) materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos; (2) nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco, y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas (Nitrosomonas y Nitrobacter); (3) compuestos químicos reductores (ion ferroso, sulfitos, sulfuros, que se oxidan por oxígeno disuelto).

4. Demanda total de oxígeno DTO: mide el total de oxígeno consumido basándonos en las siguientes reacciones para el proceso de combustión catalítica.



Grupo 2. Métodos para la evaluación de parámetros de contenidos de carbono:

1. Carbono orgánico teórico (COTe) mide el carbono.
2. Carbono orgánico total (COT): se basan en la oxidación del carbono de la materia orgánica a dióxido de carbono, y determinación del  $\text{CO}_2$  por absorción en hidróxido potásico o por análisis instrumental.

### **Pretratamientos y tratamientos primarios de las Aguas Residuales.**

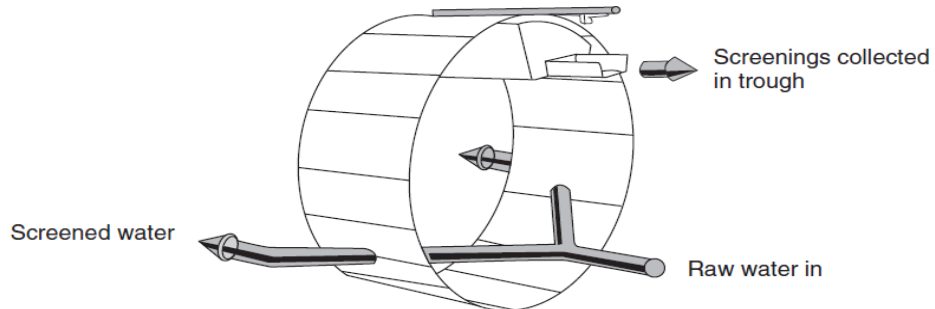
La selección de los procesos de tratamiento de aguas residuales o la serie de procesos de tratamiento depende de un cierto número de factores, entre los que se incluyen:

- ✓ Características del agua residual: DBO, materia en suspensión, pH, productos tóxicos.
- ✓ Calidad del efluente de salida requerido.
- ✓ Coste y disponibilidad de terrenos. Ciertos tratamientos biológicos son económicamente viables únicamente en el caso de que se disponga de terrenos de bajo coste.
- ✓ Consideración de las futuras ampliaciones o la previsión de límites de calidad de vertido más estrictos, que necesiten el diseño de tratamientos más sofisticados en el futuro.

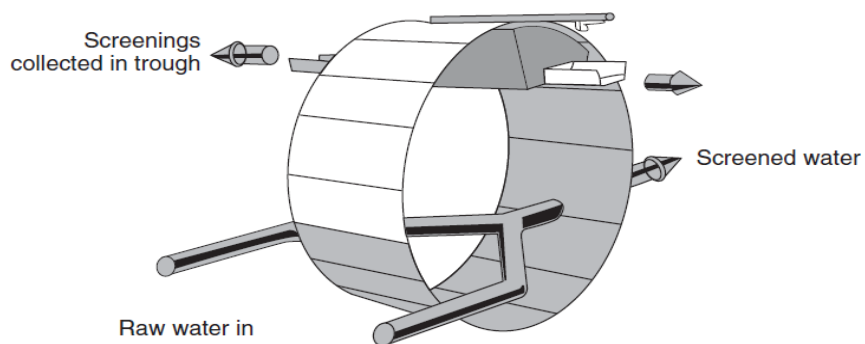
Los pretratamientos de aguas residuales implican la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga bien en los receptores o para pasar a un tratamiento secundario a través de una neutralización u homogeneización. Los tipos de tratamientos primarios más comunes son: el cribado o desbrozo, la sedimentación, la flotación y la neutralización y homogeneización.

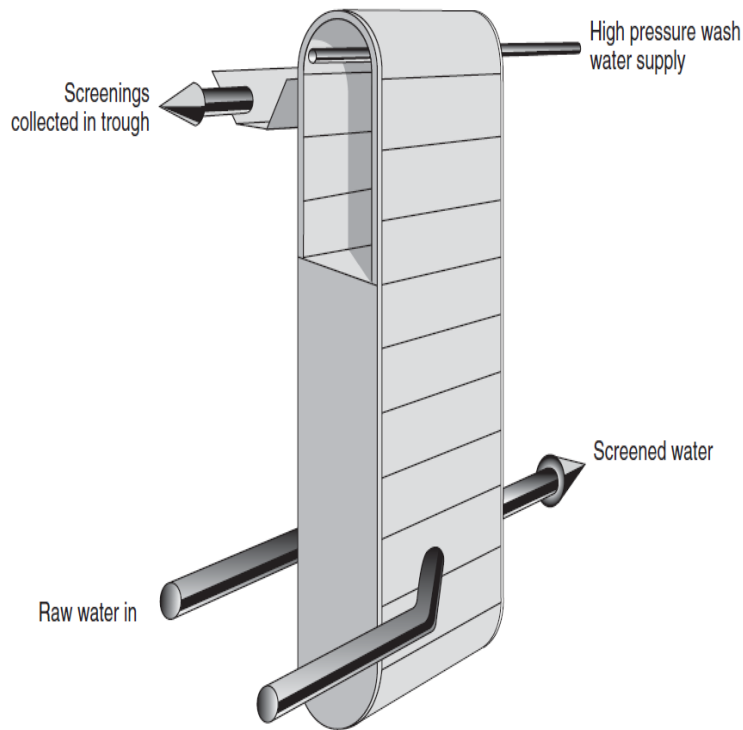
**El Cribado o desbrozo**, se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos. La distancia o las aberturas de las rejillas dependen del objeto de la misma, su limpieza puede ser manualmente o mecánicamente. Los productos recogidos se destruyen bien por incineración, o se tratan por procesos de digestión anaerobia, o se dirigen directamente al vertedero.

**Cup screen**



**Drum screen**





Las rejillas de finos tienen aberturas de 5 mm o menos. Generalmente están fabricadas de malla metálica de acero, o en base a placas o chapas de acero perforado y se usan muchas veces en lugar de tanques de sedimentación. Sin embargo aunque puede llegarse a eliminar entre un 5 y un 25% de sólidos en suspensión, de un 40 a 60% se eliminan por sedimentación. Por esta razón y también por el atascamiento es normalmente un problema, el uso de tamices finos o con aberturas pequeñas.

### **Sedimentación.**

Se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión.

La sedimentación puede producirse en una o varias etapas o en varios puntos del proceso de tratamiento. En una planta típica de lodos activados, la sedimentación se utiliza en tres de las fases del tratamiento: 1) en los desarenadores en los cuales la materia orgánica se elimina del agua residual; (2) en los clarificadores o sedimentadores primarios, que preceden al reactor biológico y el cual los sólidos se separan; (3) en los clarificadores o sedimentadores secundarios, que siguen al reactor biológico, en los cuales los lodos del biológico se separan del efluente tratado.

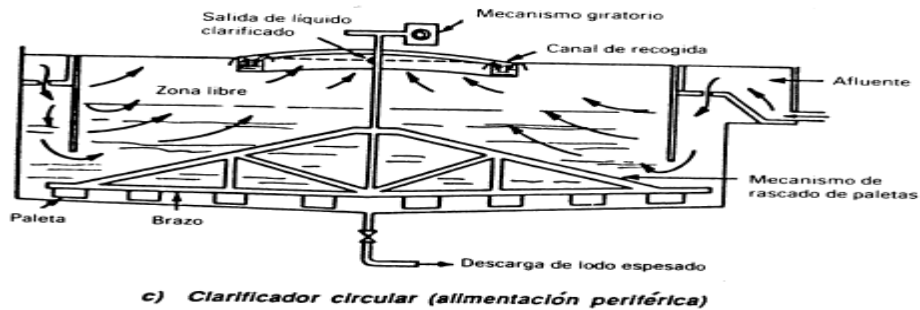
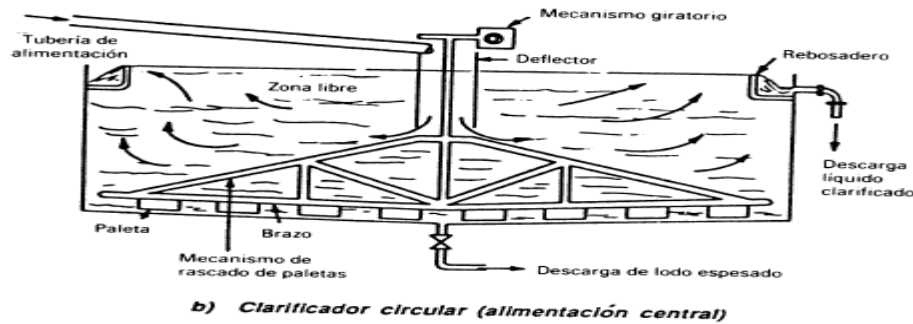
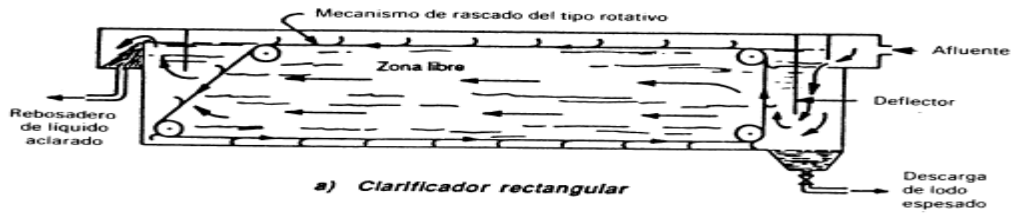
Los clarificadores se clasifican según la geometría de su sección horizontal en 1) rectangulares 2) circulares. Estos a su vez se pueden clasificar en a) con alimentación central, b) con alimentación periférica.

1. Clarificador rectangular: el lodo es arrastrado por las rasquetas a lo largo del tanque y hacia el extremo de la entrada. En otros diseños el lodo es arrastrado hacia la zona de salida del tanque.

Los mecanismos de las rasquetas son del tipo rotatorio y consisten en una serie de pequeñas rasquetas montadas en una cadena sin fin, que hace contacto con el fondo del tanque. Se mueve muy lentamente, a una velocidad aproximada de 0,3 cm/min.

2.a. Clarificador circular con alimentación central. La alimentación se hace por la parte central y la solución clarificada rebosa por una canal de recogida en la periferia. El fondo del clarificador tiene una pendiente mínima de 1/12. El mecanismo de rasquetas es de tipo de paletas para evitar que tenga una inercia y prevenir la adherencia del lodo al fondo del tanque.

2.b Clarificador circular con alimentación periférica. La alimentación está situada en la periferia y la solución clarificada rebosa por un canal de recogida en la sección central. Los demás detalles son similares al clarificador anterior. La sección de entrada debe ser diseñada con cuidado para tener una distribución uniforme de flujo, tanto a lo ancho como en profundidad.

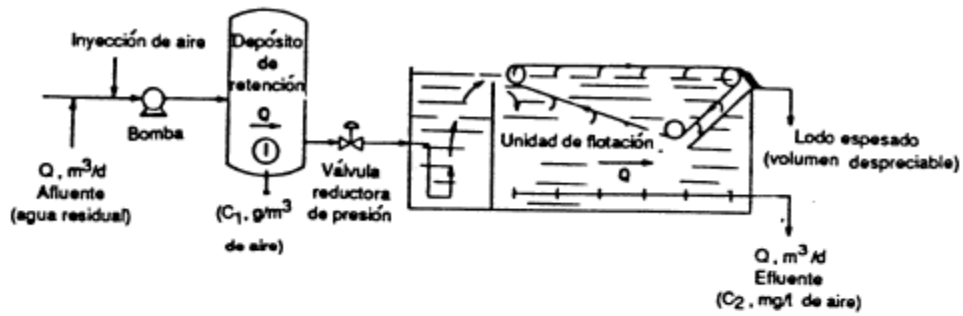


## Flotación.

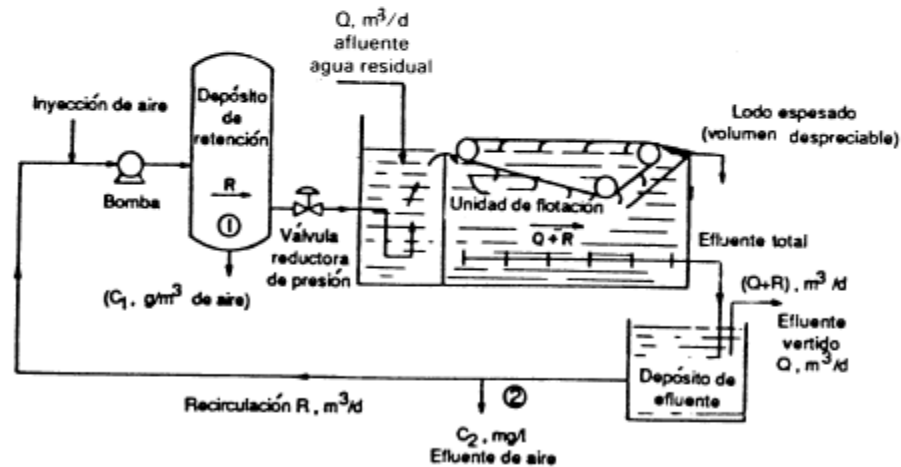
Es un proceso para separar sólidos de baja densidad o partículas de una fase líquida. La separación se lleva a cabo introduciendo un gas (normalmente aire) en la fase líquida, en forma de burbujas. La fase líquida se somete a un proceso de presurización para alcanzar una presión de funcionamiento que oscila entre 2 y 4 atm, en presencia del suficiente aire para conseguir la saturación en aire del agua. Luego, este líquido saturado de aire se somete a un proceso de despresurización llevándolo hasta la presión atmosférica por paso a través de una válvula reductora de presión. En esta situación y debido a la despresurización se forman pequeñas burbujas de aire que se desprenden de la solución. Los sólidos en suspensión o las partículas líquidas (aceite, petróleo) flotan, debido a que estas pequeñas burbujas, asociándose a los mismos, les obligan a elevarse hacia la superficie. Los sólidos concentrados pueden separarse de la superficie por sistemas mecánicos. El líquido clarificado puede separarse cerca del fondo y parte del mismo puede reciclarse.

Los objetivos de la flotación son: 1) separación de grasas, aceites, fibras y otros sólidos de baja densidad de las aguas residuales; 2) espesado de los lodos procedentes de los procesos de lodos activos; 3) el espesamiento de los lodos floculados químicamente resultantes de los tratamientos de coagulación química.

Una superior calidad de los efluentes y una economía de energía pueden conseguirse con sistemas por flotación con reciclaje.



a) Sistema de flotación sin recirculación



b) Sistema de flotación con recirculación

## Neutralización y homogeneización

El tratamiento de neutralización se utiliza en los casos siguientes:

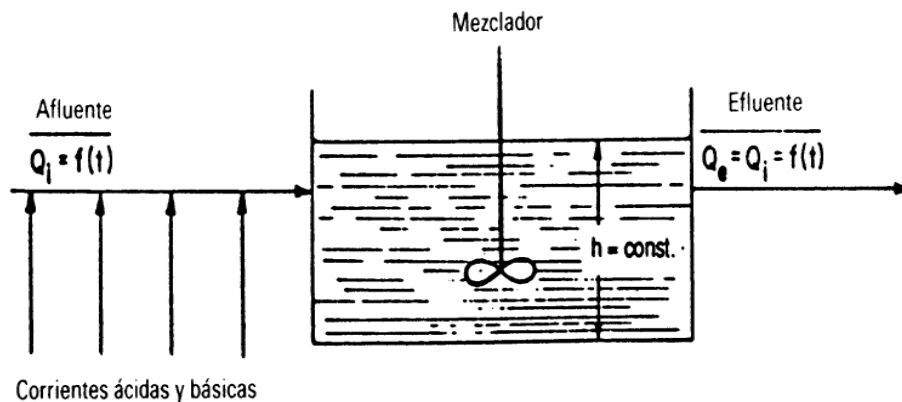
1. Antes de la descarga de aguas residuales en un medio receptor. La justificación para la es que la vida acuática es muy sensible a las variaciones de pH fuera de un intervalo cercano a 7.
2. Antes de la descarga de aguas residuales industriales al alcantarillado municipal.
3. Antes del tratamiento químico y biológico. Para tratamientos biológicos el pH del sistema se mantiene en un intervalo comprendido entre 6,5 y 8,5 para asegurar una actividad biológica óptima.

Los métodos para neutralización de aguas residuales incluyen; (1) homogeneización que consiste en mezclar las corrientes, algunas de las cuales son ácidas y otras alcalinas, disponibles en planta. Y (2) métodos de control directo de pH, que consisten en la adición de ácidos o bases para neutralizar las corrientes alcalinas o ácidas.

### Homogeneización.

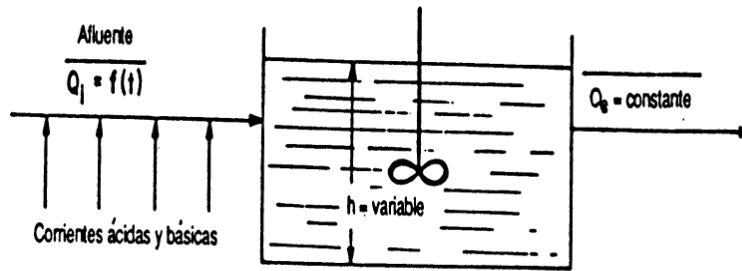
La homogeneización significa la mezcla de las corrientes de aguas residuales, ácidas o alcalinas en un tanque de homogeneización. La homogeneización se utiliza a menudo para otros objetivos aparte de la neutralización, como son: aminorar las variaciones de ciertas corrientes de aguas residuales, intentando conseguir una corriente mezclada, con caudal relativamente constante que sea el que llegue a la planta de tratamiento. Aminorar las variaciones de la DBO del afluente a los sistemas de tratamiento. Con este propósito se utilizan tanques de homogeneización de nivel constante o variable.

Estanque de homogeneización de nivel constante: El nivel del depósito de homogeneización se mantiene constante. En consecuencia, si el caudal de entrada varía, varía el caudal de salida. Por lo tanto no se trata de una técnica de homogeneización de caudal, sino simplemente un método de neutralización.

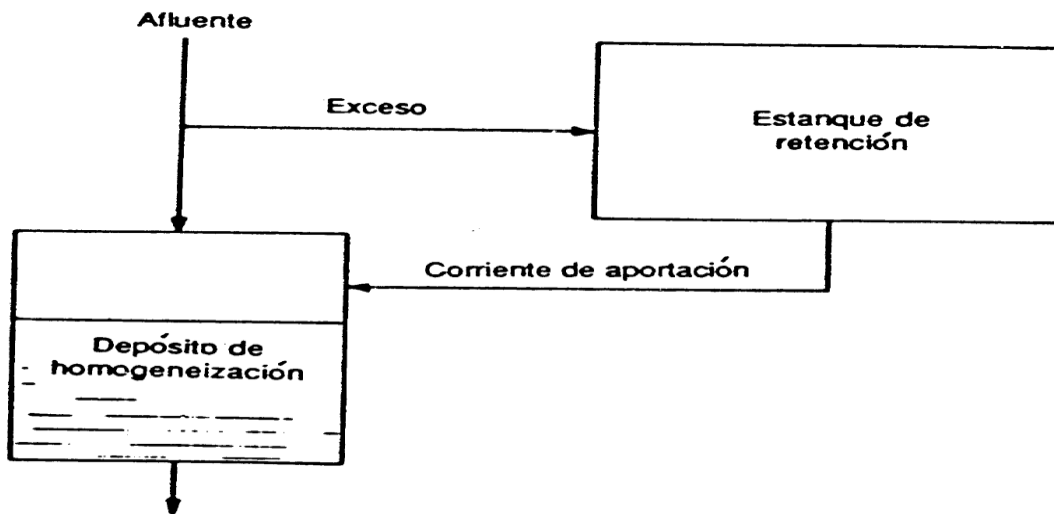


Estanque de homogeneización de nivel variable: el efluente sale con un caudal constante, y teniendo en cuenta que el caudal de entrada varía con el tiempo, el nivel del estanque debe hacerse variable. Este método también se utiliza con la idea no solo de conseguir una neutralización sino de conseguir un caudal de salida constante.





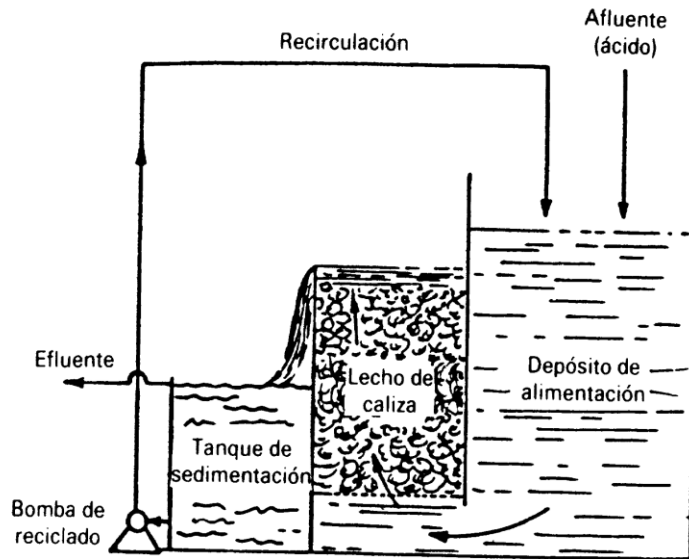
Otro método de homogeneización consiste en sacar el exceso de la corriente de entrada o caudal de alimentación, a un depósito de retención del cual sale una pequeña purga que va alimentando al tanque de homogenización. Este método no se utiliza con objetivos de neutralización, sino solamente para el mantenimiento de la DBO o caudal.



Métodos de control directo del pH: Neutralización de las aguas residuales acidas por métodos de control de pH.

Los métodos empleados normalmente son 1) Lechos de caliza 2) neutralización por cal 3) neutralización con sosa caustica 4) neutralización por carbonato de sodio 5) neutralización con amoniaco.

El más común de todos es del lecho de caliza debido a su bajo coste, pero tiene la limitación de no debe usarse si la concentración de  $H_2SO_4$  supera el 0,6%. La razón de esta limitación atiende a la formación de una capa insoluble de  $CaSO_4$  sobre la caliza.

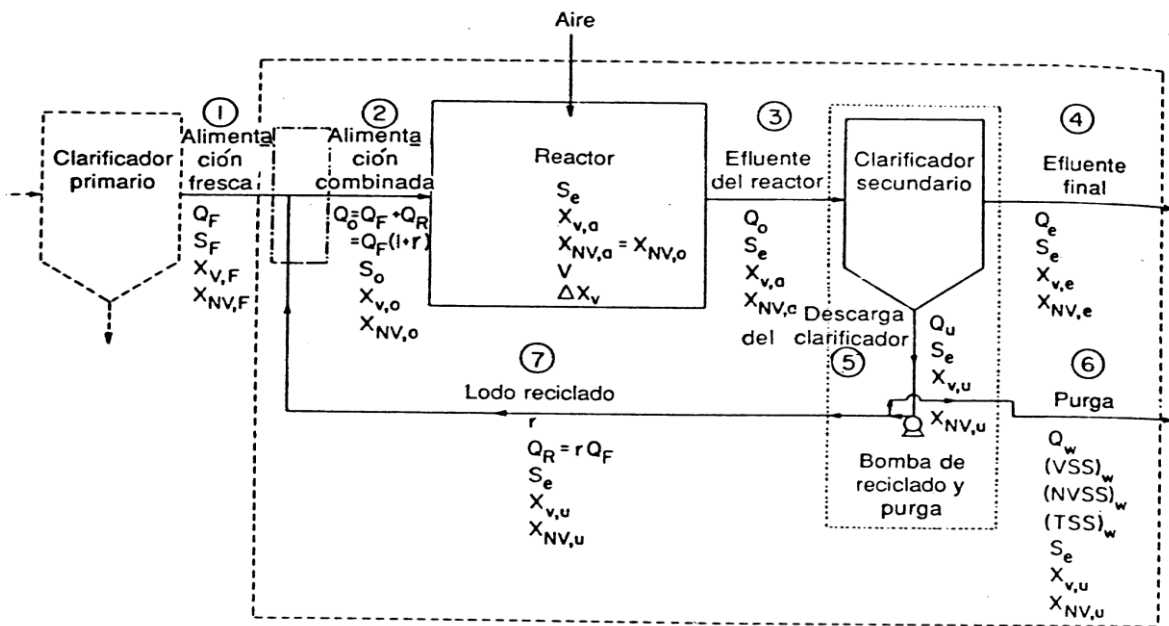


La disposición de flujo ascendente es preferible que el caso contrario, ya que en sus unidades, el  $CaSO_4$  tiende a ser arrastrado antes de precipitarse sobre caliza. Además, los escapes de  $CO_2$  generados en la reacción de neutralización, son más fáciles de eliminar en dichas unidades. En las unidades de flujo descendente teniendo en cuenta que el  $CO_2$  tiene tendencia a escaparse en la dirección opuesta a la circulación de líquido, aumenta la posibilidad de que ocurran ciertas condiciones de inundación adversas.

### Tratamiento secundario de aguas residuales.

Lodos activados: nació de la observación realizada hace mucho tiempo de que si cualquier agua residual, urbana o industrial, se somete a aireación durante un periodo de tiempo se reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo floculento. El examen microscópico de este lodo revela que está formado por una población heterogénea de microorganismos, que cambian continuamente en función de las variaciones de la composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales. Los microorganismos presentes son bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos. De éstos, las bacterias son probablemente las más importantes, encontrándose en todos los tipos de procesos de tratamiento biológico.

El proceso de lodos activados se ha desarrollado como una operación continua mediante el reciclado de lodo biológico.



Los elementos básicos de las instalaciones del proceso de lodos activados son:

Tanque de aeración: estructura donde el desagüe y los microorganismos son mezclados. Se produce reacción biológica.

Tanque sedimentador: el desagüe mezclado procedente del tanque aerador es sedimentado separando los sólidos suspendidos (lodos activados) obteniéndose un desagüe tratado clarificado.

Equipo de aireación: inyección de oxígeno para activar las bacterias heterotróficas.

Sistema de retorno de lodos: el propósito de este sistema es el de mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aeración. Una gran parte de sólidos biológicos sedimentables en el tanque sedimentador son retornados al tanque de aeración.

El exceso de lodos y su disposición: el exceso de lodos, debido al crecimiento bacteriano en el tanque de aeración, es eliminado, tratado y dispuesto.

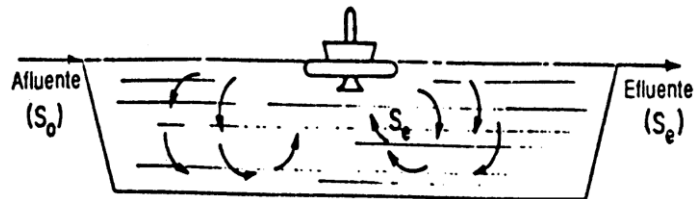
En algunos casos se tiene un pretratamiento o ajuste de aguas residuales: en algunos casos las aguas residuales deben ser acondicionadas antes de procederse con ellos en el proceso de lodos activados, esto debido a que ciertos elementos inhiben el proceso biológico (grandes cantidades de sólidos, valores anormales de pH, etc.)

Lagunas aireadas: son balsas con profundidades de 1 a 4 m en las que la oxigenación de las aguas residuales se realiza mediante unidades de aireación bien sean superficiales, turbinas o difusores. La diferencia fundamental entre las lagunas aireadas y el sistema de lodos activados es que en este se lleva a cabo la recirculación del lodo como forma de controlar la cantidad de lodo biológico en el reactor de aireación. Las lagunas aireadas son sistemas sin reciclado de lodos. La

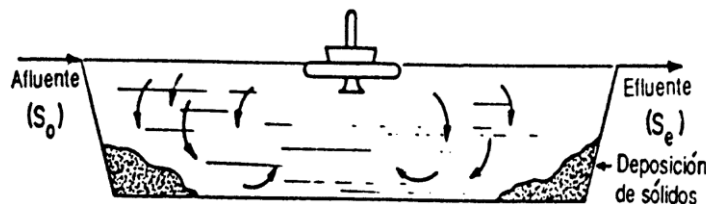
concentración de sólidos en las lagunas es función de las características del agua residual y del tiempo de residencia.

El nivel de turbulencia en las lagunas es la base para su clasificación en dos categorías: de mezcla completa y lagunas facultativas.

Lagunas de mezcla completa: el nivel de turbulencia no es suficiente para mantener los sólidos en suspensión y para proporcionar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. Los tiempos de residencia son normalmente menores de tres días y los niveles de potencia superiores a 0,007 CV por metro cubico de balsa.



a ) Laguna de mezcla completa

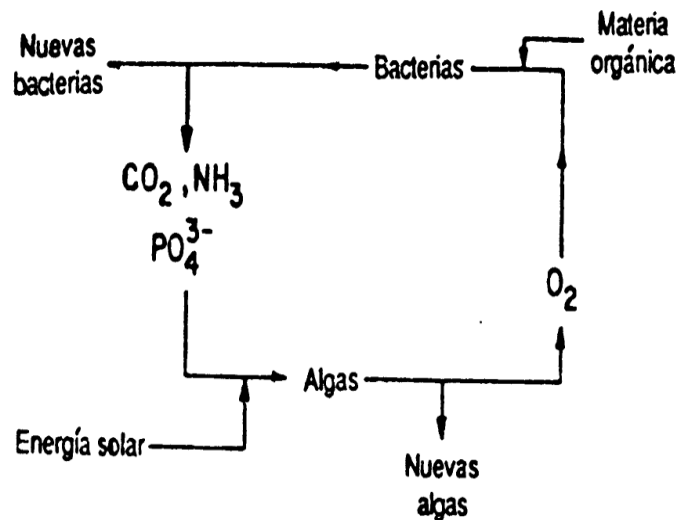


b ) Laguna facultativa

Lagunas facultativas: el nivel de turbulencia es insuficiente para mantener todos los sólidos en suspensión, contándose exclusivamente con el necesario para suministrar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. Parte de los sólidos decantan en el fondo de la laguna donde sufren descomposición anaerobia. Los tiempos de retención superan normalmente los seis días y los niveles de potencia están comprendidos entre 0,001 y 0,007 CV por m<sup>3</sup> de balsa. Se presenta una formación gradual de residuo que debe ser evacuado a intervalos de 1 a 10 años.

Una diferencia muy importante en la operación de ambos sistemas reside en la concentración de los sólidos en suspensión en el efluente. Ya que en las lagunas de mezcla completa, todos los sólidos se mantienen en suspensión, el efluente contendrá una concentración mucho mayor que la correspondiente a las lagunas facultativas y en consecuencia un valor elevado de DBO insoluble. Si se desea una calidad elevada del efluente, puede ser necesario que el tratamiento continúe en el caso de las lagunas de mezcla completa con una balsa de sedimentación con objeto de separar la mayor parte de esta DBO insoluble. Una disposición que puede resultar muy satisfactoria es la formada por una laguna de mezcla completa en la que se consume la mayor parte de la DBO soluble, seguida por una facultativa, diseñada fundamentalmente para la disminución de la DBO insoluble.

Balsas de estabilización de aguas residuales: en las balsas de estabilización no se utiliza equipo de aireación. El oxígeno necesario en las balsas se obtiene de la superficie natural de aireación y de las algas que producen oxígeno por fotosíntesis. El oxígeno liberado por las algas por la fotosíntesis se utiliza por las bacterias para la degradación aerobia de la materia orgánica. Los productos de esta degradación ( $\text{CO}_2$ , amoníaco, fosfatos) son utilizados de nuevo por las algas.



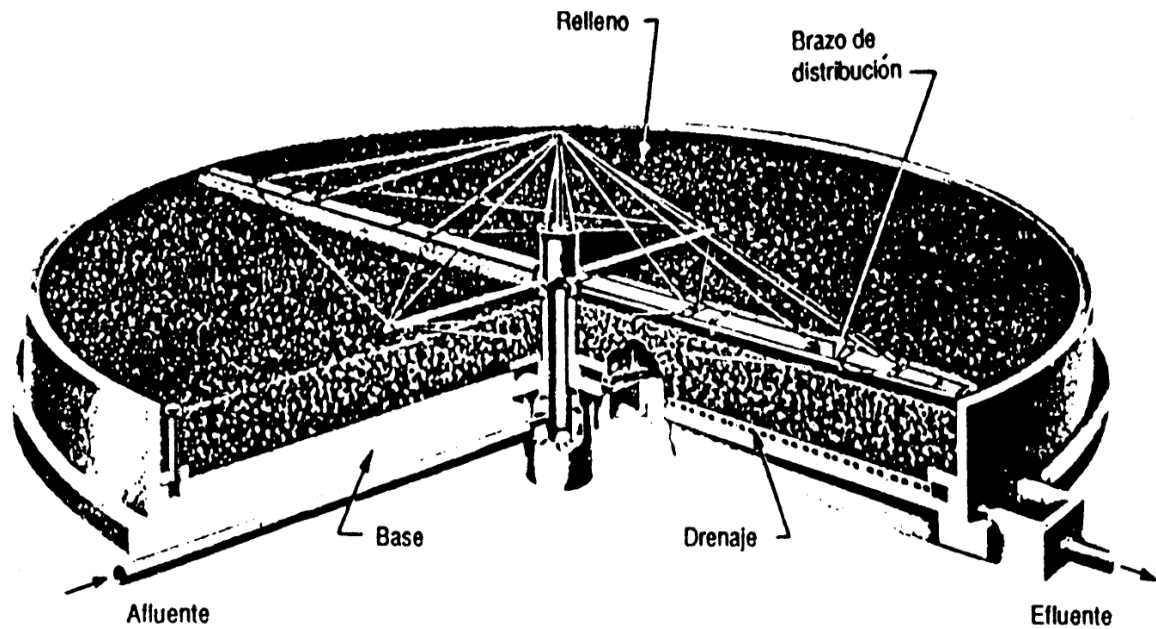
Las balsas de estabilización de aguas residuales son factibles cuando se dispone de grandes superficies de terreno a bajo coste y cuando la calidad exigida al efluente no es muy estricta.

Las balsas en las que las capas superiores son aerobia y las inferiores anaerobias se denominan facultativas. La mayoría de las balsas de estabilización corresponde a esta categoría.

Debido a los tiempos de retención elevados, normalmente alrededor de dos meses, la disminución de la concentración de compuestos orgánicos refractarios que no puede conseguirse mediante lodos activos o lagunas aireadas puede lograrse en balsas de estabilización.

### Filtros percoladores:

El filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge por el fondo. La capa de limo que se forma junto al relleno tiene un espesor total comprendido entre 1 a 2 mm está formado de un subcapa aerobia y de otra anaerobia.

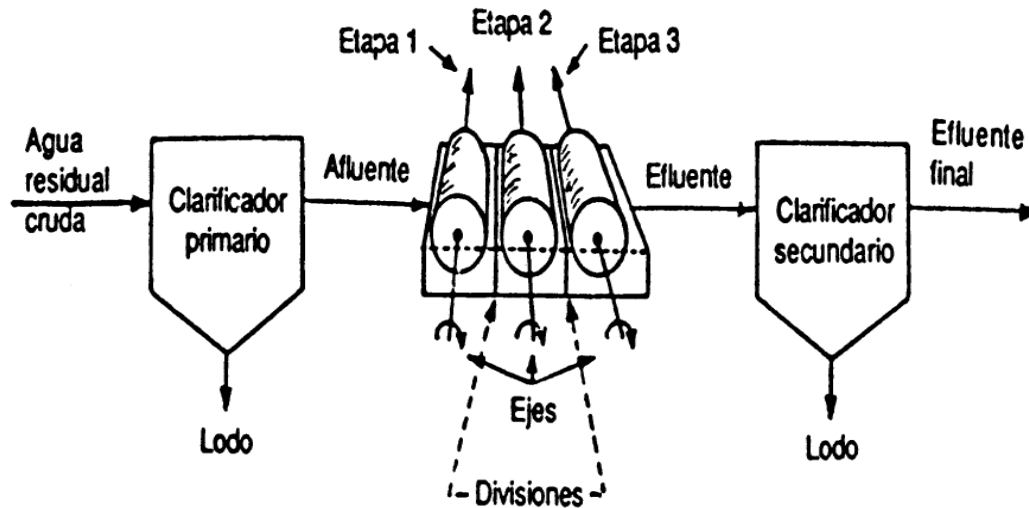


El proceso biológico que tiene lugar en la subcapa aerobia, es la oxidación parcial

En la subcapa anaerobia, la degradación tiene lugar con formación de ácidos orgánicos,  $\text{CH}_4$  y  $\text{H}_2\text{S}$ . En los filtros percoladores la materia orgánica y coloidal se separa mediante oxidación aerobia, biosorción, coagulación y descomposición anaerobia y en esencia, no existe disminución de la carga orgánica por filtración mecánica.

### Biodiscos:

Son sistemas que fueron desarrollados para obtener el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales. Cada etapa está formada por una serie de discos no muy separados, normalmente fabricados de poliestireno o polietileno con diámetro comprendidos entre 3 - 4 m. Estos discos se mantienen paralelos entre si y unidos a un eje horizontal que pasa a través de sus centros. Los ejes tienen longitudes de 7,5 m aproximadamente.



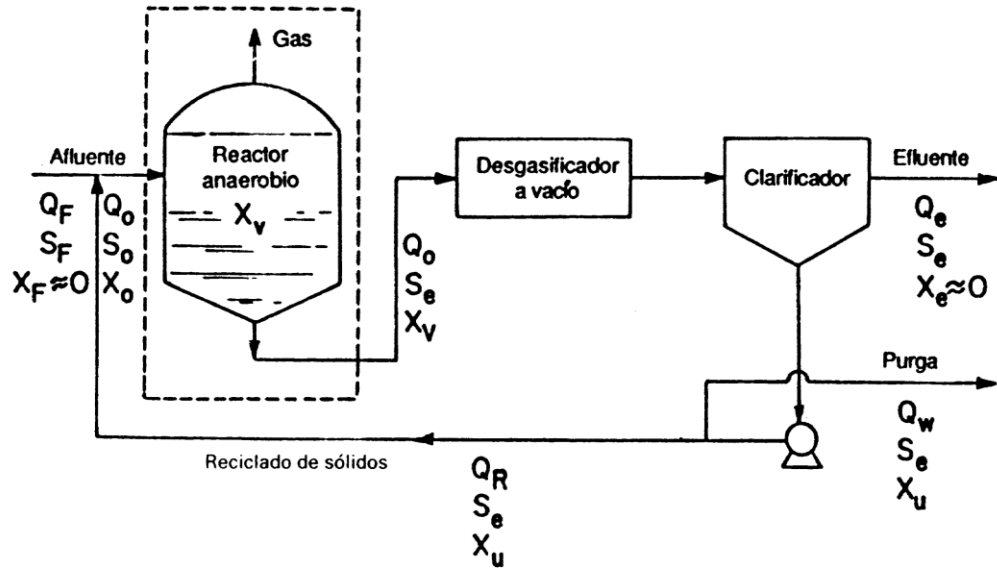
### Tratamiento anaerobio.

Se utiliza tanto para las aguas residuales como para la digestión de lodos. Los productos finales de la degradación anaerobia son gases, principalmente  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , y pequeñas cantidades de  $\text{H}_2\text{S}$ , mercaptanos  $\text{RSH}$  e hidrogeno. El proceso comprende dos etapas: (1) fermentación ácida y (2) fermentación metánica.

En la fermentación ácida, los compuestos orgánicos complejos del agua residual (Proteínas, grasas e hidratos de carbono) se hidrolizan en primer lugar para producir unidades moleculares menores, las cuales a su vez son sometidas a biooxidación, convirtiéndose principalmente en ácidos orgánicos de cadena corta, tales como acético, propiónico y butílico. Una población heterogénea de bacterias facultativas y anaerobias es responsable de estas reacciones de hidrólisis y oxidación.

En la etapa de fermentación metánica, microorganismos metanogénicos estrictamente anaerobios, convierten los ácidos de cadenas más largas en metano, dióxido de carbono y ácidos orgánicos de cadenas más cortas.

El grupo de bacterias facultativas y anaerobias responsable de la etapa de fermentación ácida tiene una velocidad de crecimiento más elevada que las bacterias metanogénicas responsables de la etapa de fermentación metánica. Como resultado, la etapa de fermentación metánica es la que controla la velocidad en los procesos anaerobios.



#### Bibliografía.

Jorge A. Pérez P., Manual de Tratamiento de Aguas. Trabajo presentado como requisito parcial para ingresar a la Categoría de Profesor Asociado. Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín 1981.

Ramalho M. S. Tratamiento de Aguas Residuales.