

Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Ingeniería

# Estudio de Medio Ambiente

UNIDAD 2:

El Agua como factor ecológico. Polución. Tratamiento

Profesor Titular: Mst. Ing. José Alberto Flores

Profesora Adjunta: Dra. Ing. Irma Teresa Mercante

Profesora Adscripta: Ing. Julieta Chini

Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Cuyo

**Contenido:** Ciclo del agua. Aguas Superficiales y Subterráneas. Lagos, ríos y océanos. Propiedades y Características del agua. Ciclo hidrológico y las aguas naturales. Definición y tipos de Contaminación. Compuestos Contaminantes del Agua. Fundamentos de la química del agua. Propiedades del agua. Incidencia de la Temperatura. Efectos de la polución de las aguas. El agua como vehículo transmisor de enfermedades. Organismos patógenos. Concepto de DBO y de DQO. Control de la contaminación del Agua Superficial. Clasificación de los lagos. Contaminación de Lagos y Ríos. Vida acuática. Zonas de degradación de un río. Curvas características. Eutrofización, concepto. Aguas naturales y fuentes de provisión. Clasificación de los elementos contenidos en las aguas naturales. Compuestos contaminantes. Índices de calidad del agua. Parámetros de la calidad del agua. Alteraciones químicas de las aguas. Breve reseña del tratamiento y depuración de aguas residuales. Distintos procesos de depuración de aguas residuales: preliminar, primario, secundario y terciario. Flotación, coagulación y floculación. Barros Activados, definición, factores y criterios básicos. Gráficos y esquemas. Filtros Percoladores y Biodiscos. Gráficos. Carbón activado. Formas de evacuar las aguas residuales. Control de la Contaminación del Agua. Manejo de sólidos.

## I. PROPIEDADES DEL AGUA Y CUERPOS ACUOSOS

### 1. Agua. Calidad. Cantidad. Química

A través de la historia, la calidad y la cantidad del agua disponible para la humanidad, ha sido vital la determinación de sus factores de calidad. Mientras las civilizaciones han desaparecido a causa de la falta de agua como resultado de los cambios climáticos.

Enfermedades transmitidas por el agua como el cólera y el tifus mataron millones de personas en el pasado. Algunas de estas enfermedades aún causan miserias en países menos desarrollados. Ambiciosos programas de construcción de represas y diques han reducido el daño de las inundaciones, pero presenta un número de efectos colaterales como inundaciones de tierra cultivadas por reservorios y represas inseguras propensas a romperse. Se están volviendo más serios los problemas en ciertos aspectos con la calidad del suministro de agua y la calidad de los residuos. Estos problemas incluidos el incremento del uso debido al desarrollo de la población, la contaminación del agua potable por la descarga de arriesgados desechos y la destrucción de la vida salvaje por la polución del agua.

### 2. Orígenes, usos y ciclos del agua

El mundo del suministro de agua se conforma en las 5 partes del ciclo hidrológico. Una gran parte del agua se encuentra en los océanos. Otra fracción está presente en el vapor de agua en la atmósfera (nubes). Algo de agua está contenida como hielo y nieve, glaciares y capas de hielo polar. El agua superficial se encuentra en lagos, represas y reservorios. El agua subterránea se encuentra en acuíferos bajo tierra.



## El ciclo hidrológico y las aguas naturales

Las aguas naturales siempre contienen impurezas, a pesar de que provengan de un agua de lluvia teóricamente pura. En el ciclo hidrológico la evaporación del agua hacia las nubes constituye un proceso netamente purificador. Sin embargo, en su caída en forma de lluvia, el agua inicia un proceso de contaminación cuyo resultado final dependerá de las condiciones atmosféricas y climáticas de la región en que caiga, de las características geológicas del terreno y de su distribución como aguas superficiales o subterráneas. El nivel natural de calidad del agua podrá ser modificado, además, como consecuencia de las actividades humanas.

El agua de lluvia está saturada de oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono y, en general, es ligeramente ácida con un pH inferior a 6. La acidez puede verse incrementada por contaminantes atmosféricos, principalmente óxidos de azufre y nitrógeno. Cuanto más ácida sea el agua de lluvia, más fácilmente reaccionará con los materiales geológicos con los que entre en contacto.

El agua de lluvia infiltrada en el suelo puede aumentar su acidez debido a los procesos biológicos, en particular la respiración de plantas y microorganismos que viven en la capa más exterior. La acidez también puede aumentar, aunque más limitadamente, debido a productos de descomposición orgánica tales como ácidos húmicos y fúlvicos, captación de nutrientes por las raíces y bacterias nitrificantes.

En contacto con los minerales que encuentra a su paso, el agua reacciona aumentando el contenido en sales disueltas, principalmente las aguas subterráneas con largos períodos de residencia. La disolución de calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y dolomita ( $\text{CO}_3\text{Ca.Mg}$ ) aumentará su contenido en calcio, magnesio, y también en bicarbonatos. Los minerales aluminosilicatos aumentarán las concentraciones de sodio, magnesio, calcio y ácido silícico.

Los minerales a base de sulfatos, tales como yeso y anhidrita, aunque son menos frecuentes, se caracterizan por sus altas solubilidades y las aguas en su contacto pueden presentar el ion sulfato dominando sobre el ion bicarbonato. En aguas subterráneas muy profundas y de origen antiguo, o en zonas costeras con intrusión salina, el ion cloruro puede llegar a ser el dominante. Las aguas superficiales están más fácilmente expuestas a la contaminación derivada de la actividad humana y pueden contener, además de materia orgánica, todo tipo de productos de origen industrial o agrícola.

Atendiendo a los problemas que pueden plantear y las posibles soluciones con tratamiento adecuado, podemos distinguir los siguientes grupos de contaminantes acuáticos:

- **Gases disueltos: oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, amoníaco.**
- **Materias en suspensión: arena, arcilla, fangos diversos, restos de vegetales, etc.**
- **Materias emulsionadas: aceites, hidrocarburos, suspensiones coloidales.**
- **Sales minerales en disolución: carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, silicatos, etc., combinados con metales alcalinos, alcalinotérreos, etc.**
- **Materia orgánica de origen natural.**
- **Compuestos sintéticos y artificiales de difícil biodegradación.**
- **Metales pesados y tóxicos inorgánicos.**
- **Organismos vivos que constituyen la fauna y flora del medio**
- **Organismos patógenos de origen animal o humano.**

Hay una fuerte conexión de la hidrósfera, donde se encuentra el agua y la litosfera, o tierra; las actividades humanas afectan a ambas. Por ejemplo perturbaciones de la tierra por la conversión de tierras con bosques o forestadas en tierras cultivadas o por intensificación de la actividad agrícola pueden reducir la cobertura de la vegetación, decreciendo la transpiración (menos vapor de agua proveniente de las plantas) y afectando el microclima.

El resultado anterior se incrementó con los desagües de las lluvias, erosión, y acumulación de lodos en las masas de agua. El ciclo nutritivo puede ser acelerado, principal enriquecimiento nutritivo de las aguas superficiales. Este cambio puede afectar profundamente las características químicas y biológicas de las masas de agua.

El agua que la humanidad usa es primeramente agua superficial fresca y agua subterránea.

En regiones áridas, una pequeña porción del suministro de agua proviene del océano, una fuente que probablemente se está convirtiendo en muy importante, así como disminuya el suministro mundial de agua fresca en relación a la demanda.

Aguas subterráneas salinas pueden ser utilizadas en algunas áreas. Las aguas subterráneas y las aguas superficiales tienen características apreciablemente diferentes.

La diferencia está en muchas sustancias bien disueltas en el agua superficiales o que se han eliminado de ella en su camino hacia el océano. El agua superficial en un lago o reservorio que contiene los nutrientes esenciales para el crecimiento algáceo puede soportar un fuerte crecimiento de éstas.

El agua superficial con un alto contenido de material orgánico biodegradable, usado como alimento para las bacterias, tiene un alto contenido de polución de bacterias. Todos estos factores tienen un profundo efecto sobre la calidad del agua superficial.

Es impactante el aumento del consumo por persona desde 40 l diarios en 1900 a alrededor de 600 l por día en la actualidad. Muchos de estos incrementos se deben al aumento de la agricultura y el uso industrial, cada uno de los cuales abarca el 46% aproximadamente del consumo total. El agua para uso humano, consume el 8% remanente.

El rápido aumento de la población en la mayoría de los estados "áridos" durante las últimas cuatro décadas, agravó aún más el problema. La escasez de agua se vuelve más aguda en donde se encuentran ubicadas ciudades más grandes.

Este problema, por supuesto es menor en comparación con aquellos, en algunas partes del África, donde la escasez de agua contribuye a condiciones de real carestía.

### **Algunos cambios en las normas del uso del agua parecen inevitables**

#### **Saneamiento integral. Necesidad y objetivos**

Ya se vio anteriormente el **ciclo hidrológico** así como el **ciclo de utilización** en donde se apuntaban dos consecuencias de gran importancia:

1. El uso del agua produce un deterioro de sus condiciones de calidad que es necesario corregir.
2. Cuanto mayor sea el proceso de corrección (más afinado) de las aguas usadas, menor será la necesidad de tratamiento previo a su uso.

Por tanto surge la necesidad de una concepción integral de la problemática de la depuración de las aguas residuales sin separar tratamiento y reutilización. La depuración debe ir orientada a unos objetivos de calidad que son función del grado de reutilización posterior (consumo potable, riego, etc.).

Además, se deben estudiar todos los condicionantes, oportunidades y necesidades de cada zona concreta para adoptar el método y proceso más adecuado con vistas a unos objetivos medioambientales y económicos.

Así surgen los **planes de saneamiento integral** que suelen englobar conjuntos de actuaciones relacionadas entre sí. Es por ello necesario huir de las actuaciones aisladas.

### **Recomendaciones de la Comunidad Económica Europea**

Como recomendaciones relativas a la depuración de las aguas residuales, pueden considerarse los puntos fundamentales marcados por el Comité sobre problemas del agua de la C.E.E.:

Los países deben esforzarse en reducir la contaminación de los recursos en agua, en la planificación, construcción, funcionamiento y gestión de los sistemas de depuración de las aguas residuales, de sus vertidos, así como del tratamiento y eliminación de lodos o de su neutralización.

En regiones de alta densidad de asentamientos, debe tenderse prioritariamente a la creación de redes de saneamiento conjuntas y depuración centralizada.

- Debe tenderse a la instalación de redes separativas de alcantarillado para las aguas de lluvia y urbanas, principalmente en zonas rurales y regiones aisladas, al igual que para los vertidos industriales. Las aguas blancas de lluvia deberían ser tratadas antes de su vertido al cauce receptor.
- Para el tratamiento conjunto de las aguas domésticas e industriales deben considerarse los aspectos ambientales, técnicos, procedimientos de tratamiento y económicos.
- Debe promoverse el tratamiento integrado de las aguas y de los lodos producidos en las mismas.
- Debe facilitarse la elección de las técnicas más adecuadas para la captación de los vertidos y su tratamiento.
- En los proyectos de depuración deberá realizarse el correspondiente estudio de impacto ambiental.
- Deberá considerarse la automatización precisa para mejorar los rendimientos y la capacidad de depuración de la planta, buscando la reducción de consumo energético, consumo de reactivos y mano de obra.
- Debe tenderse a los procedimientos y técnicas que reduzcan el consumo energético, pero sin sacrificar el objetivo de una reducción efectiva de la contaminación.
- Debe considerarse la construcción de plantas piloto, lo que permitirá elegir el procedimiento más adecuado de tratamiento, adaptándose a la situación concreta.
- Será preciso garantizar los recursos financieros para facilitar la construcción de las estaciones depuradoras, y para el mantenimiento y explotación de las mismas.
- Debe adoptarse el principio de «quien contamina paga».
- Deben tomarse las medidas oportunas para mejorar y perfeccionar el funcionamiento y explotación de las instalaciones existentes.
- Debe fomentarse su renovación.
- Debe controlarse de forma regular el funcionamiento de las depuradoras.

Deben adoptarse medidas de seguridad apropiadas como:

- a) Evitar riesgos sanitarios al personal de las depuradoras.
- b) Reducir los efectos negativos sobre el medio. Debe fomentarse la seguridad de las plantas de tratamiento.

- c) Reducir las posibilidades de propagación de contaminación a la atmósfera, a las aguas o al suelo, por pérdidas de agua o por el almacenaje, transporte o evacuación de los lodos.

### **3. Fundamentos de la química del agua**

El agua natural puede contener una gran variedad de impurezas, características del ciclo hidrológico que ha experimentado previamente.

El agua natural puede llegar directamente a la industria desde una captación independiente o a través de una red de suministro que probablemente entregará el agua con algunas modificaciones en su composición original.

Cuando las impurezas representan elementos nocivos para el uso a que va destinada el agua las denominamos contaminantes. Por lo tanto, es el grado de calidad requerido el que determina si una impureza es contaminante o no.

Cada proceso industrial requiere unas características especiales del agua, exenta de determinados contaminantes. Para eliminarlos se somete el agua a unos tratamientos de purificación. A su vez los procesos industriales introducen en el agua unos nuevos contaminantes.

Como también los efluentes están sujetos a unas calidades mínimas de vertido, establecidas para el cauce receptor (Resolución N° 778 -DGI), si no las cumplen deben someterse a otros tratamientos que den la calidad de vertido necesario o que permitan la recuperación interna del agua.

Las técnicas de tratamiento de agua cubren una amplia variedad de procesos de purificación.

Si el agua fuese siempre pura, o si siempre tuviese una composición constante de los contaminantes presentes, su acondicionamiento para un uso industrial determinado sería simple y uniforme.

Sin embargo éste no es el caso, y la variabilidad de las impurezas, junto con las alternativas diferentes de tratamiento que podemos elegir, cada una óptima para unas condiciones determinadas, requieren una evaluación experta, basada en unos conocimientos especializados.

El tratamiento tiene por objeto evitar la introducción de sustancias extrañas en un proceso de fabricación, los problemas asociados a la corrosión o incrustación en usos energéticos, o la perturbación ecológica del medio receptor de un agua residual.

La evaluación del proceso idóneo de acondicionamiento debe considerar tanto las impurezas presentes como las especificaciones de calidad final exigidas.

#### **Propiedades del agua. Una sustancia única**

El estudio del agua se conoce como hidrología, y está dividido en un número de subcategorías.

Limnología es la rama de la ciencia que estudia el principio del comportamiento de las características del agua fresca, incluyendo las propiedades biológicas, como así también las propiedades físicas y químicas.

El agua tiene un número de propiedades que son esenciales para la vida, muchas de las cuales se deben a la habilidad del agua para unirse con el H.

### Importantes propiedades del agua

PROPIEDADES	EFFECTOS Y SIGNIFICADOS
Excelente solvente	El transporte de nutrientes y productos desechados, produciendo posibles procesos biológicos en un medio acuoso.
La mayor constante dieléctrica	Alta solubilidad de sustancias iónicas y en solución, ionización en solución
Mayor tensión superficial que cualquier otro líquido	Controla fenómenos en la gota y superficie. Factor importante en la fisiología
Transparente a la luz visible y ultravioleta cercano	Cuando es incolora deja pasar la luz necesaria para fotosíntesis hasta profundidades importantes
Máxima densidad como líquido a 4°C	El hielo flota. Restringe la circulación vertical en cuerpos de agua
Muy alto calor de vaporización	Determina la transferencia de calor y moléculas de agua entre la atmósfera y las masas de agua
Muy alto calor latente de fusión	Estabiliza la temperatura al punto de fusión del agua
Muy alta capacidad calórica	Estabilización de temperatura de organismos y regiones geográficas

El agua es un excelente solvente para muchos materiales, de este modo es el medio básico de transporte para nutrientes y productos desechados de procesos vivos.

La extremadamente alta constante dieléctrica del agua con respecto a los otros líquidos tienen un profundo efecto sobre sus propiedades solventes, por ello la mayoría de los materiales iónicos se disocian en agua.

Con la excepción de líquidos como el amoníaco, el agua tiene la más alta capacidad calórica que cualquier líquido o sólido, 1 cal/ gr °C. Por efecto de esta alta capacidad calórica se requiere un calor relativamente grande para cambiar apreciablemente la temperatura de una masa de agua, por lo tanto una masa de agua puede tener efecto estabilizador sobre la temperatura de las regiones geográficas cercanas a ella.

Además esta propiedad previene de grandes cambios repentinos de temperatura en grandes masa de agua donde se protegen organismos acuáticos del shock producido por las abruptas variaciones de temperaturas.

El extremadamente alto calor de vaporización, 585 cal/ gr. a 20°C, también estabiliza la temperatura de las masas de agua y las regiones geográficas circundantes. Esto también influencia la transferencia de calor y vapor de agua entre las masas de agua y la atmósfera.

El agua tiene su máxima densidad a una temperatura de 4°C, por encima de su punto de congelamiento. La favorable consecuencia de este hecho es que el hielo flota, por lo tanto pocas masas de agua siempre se congelan. Además es la base fundamental de la circulación vertical

del agua en lagos, un factor determinante en su química y biología, está ampliamente gobernada por la singular relación temperatura-densidad del agua.

### **El agua químicamente pura**

El agua pura, H<sub>2</sub>O, no existe en estado natural, sin embargo es conveniente seguir repasando algunas de sus propiedades fisicoquímicas para comprender el complejo papel que juegan en muchos de los fenómenos en que se manifiestan.

La molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno unidos a un átomo de oxígeno formando un ángulo de 105°. La molécula tiene por tanto, una forma asimétrica, dipolar por la irregular distribución de las cargas eléctricas, que determina la formación de enlaces de hidrógeno. Como resultado de los enlaces de hidrógeno la atracción intermolecular es más fuerte de lo que cabría esperar y la energía de liberación para formar vapor es muy alta.

El alto calor latente de vaporización de 539 kcal/kg a 100 °C, hace del vapor de agua un medio para transferir calor, y de ahí su uso generalizado en los procesos de calefacción. Además, la molécula de agua presenta una gran estabilidad prácticamente hasta 1200 °C. También el calor latente de fusión, de 80 kcal/kg a 0 °C, es relativamente elevado, y además la congelación se realiza con particularidad de una disminución de densidad al pasar al estado sólido.

Otras manifestaciones de la estructura particular de la molécula del agua son la alta tensión superficial y la alta constante dieléctrica (80 a 18 ° C). Por la alta tensión superficial el agua líquida experimenta el fenómeno de capilaridad, muy importante en ciertas actividades biológicas.

La constante dieléctrica representa el factor por el cual hay que dividir las fuerzas que se ejercen entre dos partículas próximas, por ejemplo dos iones de signo opuesto, al hallarse dentro del agua. De ahí deriva su capacidad de disolución y el carácter particularmente ionizante de los medios acuosos para las sales.

Las moléculas de agua, en contacto con una estructura cristalina iónica se orientan alrededor de los iones exteriores neutralizando las fuerzas de atracción de los iones interiores y liberándolos del cristal, al mismo tiempo que los hidratan evitando su retomo a la red cristalina. En el agua los iones se mantienen como tales con sus cargas eléctricas, positivas para los cationes y negativas para los aniones, y dotando al agua de un poder conductor de electricidad que no tiene en estado puro.

El agua presenta un alto poder de disolución, no sólo para los sólidos iónicos, sino también para gran cantidad de sustancias gaseosas, líquidas y sólidos no iónicos. Con mucha razón se afirma que el agua es el disolvente más universal que existe.

El agua líquida es por si sola un cuerpo muy débilmente ionizado, efectuándose una disociación molecular según la siguiente reacción:



Para el agua pura a 25°C el valor del pH es igual a 7. El grado de disociación y en consecuencia el pH, varía con la temperatura, a medida que aumenta ésta disminuye el pH.

### **Incidencia de la temperatura en los procesos que tienen lugar en soluciones acuosas**

La variación de la temperatura tiene incidencia sobre distintos parámetros fisicoquímicos que, a su vez, pueden afectar los procesos de tratamiento. Algunos problemas operativos están asociados a las variaciones estacionales.

Como los diseños de las instalaciones se realizan para cubrir las necesidades de proceso en las condiciones extremas, la operación en condiciones muy diferentes puede presentar problemas secundarios.

Por ejemplo, los circuitos de refrigeración se diseñan para las altas temperaturas veraniegas. Como las bajas temperaturas de invierno obligan a reducir las velocidades de circulación del agua de refrigeración se aumenta la posibilidad de formación de depósitos con todos los fenómenos que lleva asociados.

**La densidad del agua tiene un máximo a 4 °C**, y por tanto podemos decir, con la excepción del intervalo inferior de 0 a 4 °C, que afecta a muy pocos procesos, que la densidad del agua disminuye con la temperatura. La viscosidad disminuye al aumentar la temperatura mientras que las velocidades de reacción aumentan con la temperatura.

Todos estos factores influyen, por ejemplo, en los procesos de coagulación-floculación y posterior decantación.

Otras veces, el efecto de la temperatura se utiliza como base de un proceso. Como la solubilidad de los gases, y en particular del oxígeno, disminuye al aumentar la temperatura, esta propiedad se utiliza en la desgasificación térmica del agua.

La solubilidad de las sales varía irregularmente en función de la sal de que se trate. La solubilidad de muchas sales aumenta con la temperatura, sin embargo, en algunos sulfatos y carbonatos alcalinotérreos, un cambio en las formas cristalinas solubles y estables conduce a una disminución de las solubilidades con el aumento de temperatura. Caso de la anhidrita (sulfato de calcio) y la calcita (carbonato cálcico).

## II. CARACTERÍSTICAS DE LAS MASAS DE AGUA

En la condición física de una masa de agua influyen fuertemente en los procesos químicos y biológicos que se dan en el agua.

El agua superficial se obtiene principalmente, en arroyos, lagos y represas.

Los lagos pueden clasificarse en: oligotróficos, eutrófico, distrófico, formas que a menudo asemeja la vida del lago.

Los lagos oligotróficos son profundos, generalmente claros, y deficientes en nutrientes y sin mucha actividad biológica.

Los lagos eutrófico tienen más nutrientes, contienen más vida y son más turbios.

Los lagos distrófico son superficiales, cargados con vida vegetal y normalmente contienen agua coloreada con bajo pH., son áreas inundadas en las cuales el agua es lo suficientemente superficial para permitir el crecimiento de plantas arraigadas en la parte inferior.

Algunas represas construidas son muy similares a los lagos, mientras otras difieren en gran parte de ellos. Represas con un gran volumen relativo entre sus entradas y salidas se denominan represas de almacenaje. Represas con gran velocidad de recambio comparadas con su volumen se denominan represas de paso.

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua en los dos tipos de represa pueden variar apreciablemente.

El agua en las represas de almacenajes, más cerradas, se asemeja al agua de un lago, mientras que el agua en las represas de paso es muy parecida al agua de un río.

Recoger agua en los embalses puede tener profundos efectos sobre la calidad del agua. Estos cambios son el resultado de factores, así como las diferentes velocidades, diferentes tiempos de estancamientos y propiedades relativas superficie-volumen alteradas, de las corrientes que serán almacenadas.

Algunos cambios resultan beneficiosos debido al almacenamiento, tienen una disminución en el nivel de materia orgánica, una reducción en la turbidez y una reducción en la dureza (contenidos de Ca y Mg).

Algunos cambios perjudiciales son la disminución de los niveles de oxígeno debido al decrecimiento de reacción, disminución de agitación, acumulación de polutantes y el incremento de algas.

El crecimiento de algas puede ser aumentado con la presencia de sólidos suspendidos provenientes de las aguas contaminadas y su exposición a la luz solar. Las aguas estancadas en la parte inferior de una represa pueden ser de baja calidad.

El nivel de oxígeno llega casi a cero en la parte inferior y por lo tanto se produce olor a sulfuro de hidrógeno, (debido a la reducción de los compuestos sulfurados con un ambiente de bajo contenido de oxígeno).

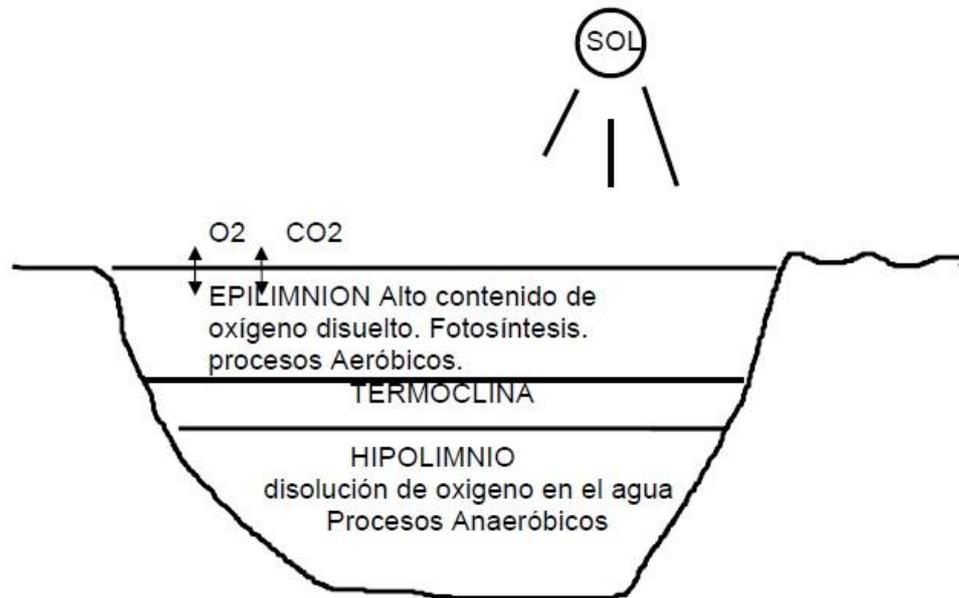
La relación única temperatura-densidad del agua produce capas que se comportan en forma independientes una de otras.

Durante el verano la capa de la superficie EPILIMNION es calentada por radiación solar y porque la densidad es baja, flota sobre la capa inferior HYPOLIMNION.

Este fenómeno es llamado estratificación térmica, cuando existe apreciable diferencia de temperatura entre las dos capas, no hay mezcla y son independientes y tienen propiedades químicas y biológicas diferentes.

El EPILIMNION el cual es expuesto a la luz puede tener una gran reproducción de algas. Como resultado de la exposición a la atmósfera y durante las horas del día y debido a la actividad fotosintética de las algas, el epilimnion contiene relativamente un alto nivel de oxígeno disuelto y generalmente es aeróbico.

En el HYPOLIMNION, la acción bacterial y material orgánico biodegradable puede causar que el agua sea de baja concentración de oxígeno y como consecuencia las especies químicas en forma reducidas, tienden a dominar en ella.



El plano intermedio entre ambas capas Epilimnion e Hipolimnion, es llamado TERMOCLINA. Durante el otoño cuando el epilimnion se enfría el punto alcanzado de temperatura entre las dos capas es igual.

La desaparición de la estratificación térmica causa que el recipiente de agua se comporte como una unidad hidrológica y éste resultado es conocido como VUELCO DE OTOÑO esto también ocurre en primavera.

Durante este estado las características físicas y químicas del recipiente de agua comienzan a ser más uniformes.

La actividad biológica puede aumentar con la mezcla de nutrientes. Los cambios en la composición del agua durante este estado pueden causar la interrupción en los procesos de tratamientos de agua.

## 1. Vida Acuática

Los organismos vivos (biota) en el ecosistema acuático pueden clasificarse en AUTRÓFICOS y HETEROTRÓFICOS.

La biota autótrófica utiliza la energía solar y química para fijar elementos, material inorgánico sin vida en moléculas vivas complejas que componen los organismos vivos.

Las algas son típicos organismos AUTRÓFICOS que componen los organismos vivos, generalmente  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4$  e  $\text{HPO}_4^{--}$ , SON FUENTE DE CARBONO, NITRÓGENO Y FOSFORO respectivamente, utilizadas como nutrientes por los organismos autótrófos. Los organismos que usan la energía solar para sintetizar la materia orgánica a partir de material inorgánico son llamados PRODUCTORES.

Los organismos HETEROTRÓFICOS, utilizan las sustancias orgánicas producidas por los organismos autótrófos y las fuentes de energía y los materiales para sintetizar la biomasa.

Los descomponedores (o Reductores) es una subclase de los organismos heterotróficos, que consisten, principalmente, en bacterias y hongos. Éstos, degradan la materia orgánica

original en compuestos simples originariamente fijadas por los organismos autótrofos. La propiedad de los cuerpos de agua de producir vida es conocida como PRODUCTIVIDAD.

La productividad es el resultado de combinaciones de factores químicos y físicos. Aguas de baja productividad es deseable para facilitar los natatorios. Relativamente alta productividad es requerida para sostener la vida de los peces. Excesiva productividad puede sofocar las malezas y causar problemas de olor. Las algas son muchas en aguas productivas y como resultado puede ocurrir la descomposición y muerte de algas reduciendo el nivel de  $O_2$  a valores muy bajo. Esto se llama EUTROFIZACIÓN.

Las formas de vida superiores a las algas y bacterias, como los peces, expresan que hay pequeñas fracciones de biomasa en el medio acuático.

La existencia de esas formas superiores de vida sugiere que la química del agua es mínima. Obviamente la vida acuática está generalmente influenciada por las propiedades físicas y químicas del agua del depósito en el cual viven. La Temperatura, Transparencia y Turbulencia son tres propiedades físicas que afectan la vida acuática.

Muy baja temperatura de agua resulta en muy bajo proceso biológico y si es alta temperatura es fatal para los procesos biológicos de muchos microorganismos. La diferencia en unos pocos grados puede producir una gran diferencia en el tipo de organismos presentes.

Las descargas térmicas de agua caliente de las plantas de energía (torres de enfriamiento) frecuentemente matan a los peces sensibles a la temperatura, produciendo que los peces y otras especies se adapten a mayores temperaturas.

La transparencia del agua es particularmente importante en la determinación del contenido de algas. El agua turbia no es muy productiva de biomasa a pesar de tener temperatura óptima de los nutrientes y otras condiciones necesarias.

La turbulencia es un factor importante en la mezcla y procesos de transporte del agua. Algunos pequeños organismos (Plancton) dependen de las corrientes de agua para su movilidad.

La turbulencia del agua es importante para el transporte de nutrientes, para la vida de los microorganismos y los productos residuales de estos.

Desempeña un rol importante el oxígeno,  $CO_2$  y otros gases a través del medio acuoso para la vida acuática, y lógicamente el intercambio de esos gases en la interface atmósfera-agua, que se ve incrementada por la moderada turbulencia.

El oxígeno disuelto (OD) frecuentemente es la sustancia llave para determinar la extinción de la vida en el medio acuático. El déficit de  $O_2$  es fatal para muchos animales acuáticos tal como el pez.

## **2. Proceso de contaminación de lagos y embalses**

- Al disminuir la velocidad de las aguas se produce un depósito de la materia sedimentable.
- Los bancos de cieno formados tienen una gran cantidad de materia orgánica que entra en fermentación, consume el oxígeno y desprende gases.
- Las bacterias patógenas por falta de alimento adecuado, temperatura y pH favorable son atacadas por los protozoos y mueren casi todas, sobreviviendo las especies más resistentes que pueden ser arrastradas corriente abajo o recogidas en las tuberías de conducción.
- La cantidad de algas puede ser muy grande.

### **Efectos Físicos**

- 1) Sedimentación, con el consiguiente arrastre de un gran número de bacterias.
- 2) Igualación, unificándose la composición de las aguas que alimentan un embalse. Esto puede disminuir la crecida microbiana y eventualmente la contaminación accidental de poblaciones e industrias.
- 3) Disminuye la vitalidad de los gérmenes patógenos que se desarrollan a temperatura y en el hábitat del cuerpo humano, especialmente las del grupo coli y el bacilo tífico.

### **Efectos Bioquímicos**

Los contaminantes aportados son:

- Partículas inorgánicas
- Partículas orgánicas
- Nutrientes
- Sustancias con efectos biológicos negativos.

Las partículas inorgánicas originarán efectos físicos como la sedimentación, turbidez, etc.

Los nutrientes dan origen a un excesivo crecimiento de algas y plantas acuáticas superiores, modificando el ecosistema acuático y dando origen a la eutrofización.

Los vertidos de sustancias tóxicas son las que modifican más directamente el ecosistema acuático y proviene generalmente de vertidos industriales.

### **Uso recreativo**

Puede decirse en general que el embalse en ciertas condiciones puede soportar perfectamente las actividades recreativas como moto-náutica, ski-acuático, vela y remo, etc.

Antes de decidirse sobre la posible utilización de un embalse para usos recreativos se deberán estudiar los siguientes aspectos:

- Actividad acuática
- Actividades en las márgenes
- Calidad del agua según flora y fauna
- Calidad del agua según sus usos
- Vigilancia
- Financiación de embalses de usos múltiples

### **Demanda biológica de oxígeno (DBO)**

Es otro parámetro importante, en la calidad de agua. Esto se refiere a la cantidad de oxígeno utilizado, por los micro organismos para degradar la materia orgánica en un volumen de agua.

El medio acuoso con alta DBO no recupera rápido el oxígeno, obviamente tiene sustancias orgánicas que requieren  $O_2$  para ser degradada biológicamente.

El  $CO_2$  es producido por los procesos respiratorios de los organismos, en el agua y sedimentos y también puede incorporarse al agua desde la atmósfera.

El  $CO_2$  es requerido para la producción Fotosintética de biomasa de algas y en algunos casos es un factor limitante.

Altos niveles de CO<sub>2</sub> producido por la degradación de la materia orgánica en agua, pueden causar excesiva cantidad de algas.

Los niveles de nutrientes en agua frecuentemente determinan su productividad.

La vida de plantas acuáticas requiere CO<sub>2</sub>, nitrógeno (nitrato), fósforo y rastros de elementos como el hierro. En muchos casos el fósforo es el nutriente limitante y es generalmente controlado en atención a no exceder su productividad.

La salinidad del agua determina también las formas de vida presentes. Las aguas de irrigación pueden tener un pico en el nivel de sal generalmente perjudicial. La vida marina obviamente requiere y tolera agua salada y muchos organismos de agua dulce son intolerantes a la sal.

### III. AGUAS NATURALES. FUENTES DE PROVISIÓN

Clasificamos las "FUENTES DE PROVISIÓN" según aquella parte del ciclo hidrológico donde sustraemos agua para su utilización, sea en bebida humana, animal, riego o menesteres industriales. El agua puede o no retornar al ciclo hidrológico dentro del mismo período.

#### 1. Clasificación de las fuentes

- Lluvia
- Superficiales (deshielo, lagos, arroyos y ríos, mares)
- Profundas (manantiales y pozos)

Las aguas de lluvia deben tomarse como fuente permanente en última instancia. Las superficiales incluyen por supuesto, las aguas de mares, pero las técnicas de desalinización actualmente no son procesos económicos y salvo imposibilidad de otras fuentes, se debe descartar.

Las aguas de pozo pueden ser semi-surgentes o surgentes. Las aguas freáticas no deben usarse por posibilidad de contaminación de esa napa.

#### 2. Características de las aguas según su origen

**Lluvia:** Presencia de gases en disolución, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>. Contendrán sólidos suspendidos, basuras, hollín, polvos y otras impurezas contenidas en la atmósfera. La primera porción, obviamente, contiene más sustancias minerales, pero luego de varias horas de lluvia, los contenidos pueden ser aún significativos. Influenciada por el sitio donde se abate, es más contaminante sobre ciudades que sobre el campo. Normalmente está saturada con aire. Puede tener carácter ácido, por la presencia de CO<sub>2</sub> y/o SO<sub>2</sub>, y en ese caso, ser corrosiva. En caso de tener que recurrir a su uso, se colectan en superficies impermeables y se almacenan en cisternas. En ellas pueden desarrollarse una cantidad alta de bacterias. Conviene clorurarla.

**Superficiales:** Las aguas que se colectan o fluyen por la superficie para formar lagos, lagunas, ríos, arroyos o canales, son aguas superficiales. El agua, por si sola, tiene propiedades solventes y tiende a disolver y desintegrar los materiales con los que se contacta. Esta propiedad desintegrante aumenta con el contenido de CO<sub>2</sub>, pudiendo ser hasta 100 veces más solubilizante con la piedra caliza, yeso y magnesita que el agua pura. Según sea el agua de pequeños cauces o de arroyos, pueden variar a lo largo del período hidrológico la composición de sus minerales disueltos y también variar los sólidos suspendidos. Su aspecto, debido a ello, puede ser turbio.

Las aguas de lago son más estables en su composición y aspecto. Debido a su quietud, los lagos sirven para asentamiento de materiales, pero la diferencia de temperaturas entre las distintas

capas puede producir movimientos del material asentado. También las tormentas pueden aumentar la turbidez. Las aguas superficiales contienen en la práctica casi todos los elementos químicos conocidos, pudiendo tener en suspensión sustancias orgánicas, preferentemente vegetales.

**Profundas:** A medida que el agua percola a través de la tierra, ésta ejerce sobre ella una acción filtrante, absorbente y purificante. Así aumenta su contenido de minerales solubles, pero disminuye la materia suspendida, color y cantidad de bacterias. Por lo tanto, son aguas claras, cristalinas.

La temperatura suele ser bastante constante, así como la composición química de sus elementos en solución. Pero debe cuidarse de la contaminación de las napas, producidas por intrusión de aguas provenientes de otras, o por invasión de aguas salinas. Son prácticamente libres de toda contaminación bacteriana.

### 3. Clasificación de los elementos contenidos en las aguas naturales

Se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- a. Gases disueltos
- b. Sales inorgánicas y productos orgánicos disueltos
- c. Sustancias inorgánicas y orgánicas en suspensión.

#### A- Química del agua. Gases disueltos

Los principales gases son  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $SH_2$ ,  $N_2$ . Salvo el  $N_2$ , los demás son corrosivos.

La solubilidad de los gases en el agua, es función directa de la presión e inversa de la temperatura del líquido.

Los gases disueltos,  $O_2$  para los peces y  $CO_2$  para la fotosíntesis de las algas son cruciales para el desarrollo de vida especies en el agua. Algunos gases en el agua pueden también causar problemas, tal como la muerte de peces debido a las burbujas de  $N_2$  formada en la sangre de los peces expuesta a la saturación de  $N_2$  en  $H_2O$ .

La solubilidad de los gases en agua es calculada con la Ley de Henry, lo cual determina, que la solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a la presión parcial del gas que está en contacto con el líquido.

#### Oxígeno en el agua

Si no existe un apreciable nivel de  $O_2$  en el agua muchos tipos de organismos no pueden existir en el  $H_2O$ . El  $O_2$  disuelto es consumido por la degradación de la materia orgánica en el agua.

La muerte de muchos peces no son causadas generalmente, por la toxicidad de polutantes, si no por una deficiencia de  $O_2$  como consecuencia del consumo por la biodegradación de polutantes.

El  $O_2$  es producido por la acción de la fotosíntesis de las algas pero dicho proceso no es realmente eficiente para la oxigenación del agua, ya que el oxígeno producido en el día es gastado durante la noche cuando las algas consumen  $O_2$ , mediante el proceso metabólico.

Cuando las algas mueren, la degradación de sus biomásas también consume  $O_2$ .

La solubilidad de  $O_2$  en  $H_2O$  depende de la temperatura del  $H_2O$ , la presión parcial de  $O_2$  en la atmósfera y del contenido salino del  $H_2O$  en equilibrio con un aire desde la presión.

Hay un límite máximo para la razón en la cual el  $O_2$  es transferido a través de la interface aire- $H_2O$ . Este promedio depende de la turbulencia.

### **Sales inorgánicas y productos orgánicos disueltos. Sustancias inorgánicas y orgánicas en suspensión.**

Las características físicas, químicas y bacteriológicas que presente un agua son los parámetros a tener en cuenta para considerar dichas aguas aptas para distintos usos y en especial para la bebida humana.

Distintos Organismos Nacionales e Internacionales han estudiado la influencia de dichos valores sobre la salud y han emitido normas que deben cumplir los servicios de provisión para poder entregar sin peligro alguno, agua a las poblaciones.

En el orden nacional o provincial, las organizaciones, Agua Argentina y Obras Sanitarias han estipulado valores, de acuerdo a los cuales las aguas de bebida se clasifican en aconsejables aceptables y tolerables.

Con el objeto de conseguir y mantener un adecuado nivel de calidad de las aguas subterráneas y cursos superficiales, de modo tal que se preserven sus procesos ecológicos esenciales, se ha normalizado los vertidos de efluentes líquidos de establecimientos industriales y/o especiales que produzcan en forma continua o discontinua vertidos residuales mediante, en el ámbito provincial, la Resolución de Irrigación, Resolución N° 778/96.

## **IV. PROBLEMÁTICA DE LA POLUCIÓN DEL AGUA**

Se dice que el agua es una combinación de hidrógeno y oxígeno de fórmula  $H_2O$ , esta agua, que es la que se encuentra en la naturaleza, lleva disuelta en suspensión determinadas sustancias que adquirió a lo largo del recorrido de parte de su ciclo hidrológico. En efecto al caer en forma de lluvia se encuentra en contacto con el aire.

Luego, en la tierra, una parte discurre por la superficie de la misma, constituyendo lo que se llama agua de escorrentía y otra se infiltra para circular por su interior formando las aguas subterráneas.

El agua natural, según lo anterior, no es pura sino que contiene en su seno determinadas sustancias, en mayor o menor cantidad, que la hace totalmente distinta en sus propiedades, del agua pura.

Estudiada en cada caso antes de ser aplicada a cada proceso industrial y por lo que se refiere a las aguas residuales, sean distintas las producidas por dos fábricas que fabriquen el mismo producto y aplique el mismo proceso si están situadas en sitios distintos.

Las aguas naturales presentan, distintas mineralización según el suelo o roca que lavaron, en su deambular en la superficie o en el interior de la tierra. Esta mineralización va de unos pocos mg/l, que presentan las aguas que recorrieron terreno granítico, a muchos mg/l, que presentan las aguas de mar y más aún, las aguas procedentes de yacimientos petrolíferos.

### **1. Definición de polución**

Es difícil escoger una definición entre las muchas que se han dado, debido a la complejidad que presenta el problema.

En efecto la POLUCIÓN ha sido definida directa o indirectamente.

Indirectamente, la enunció la ley Suiza cuando dice:

"Se tomarán las medidas necesarias para controlar la polución, o cualquier otro deterioro de las aguas superficiales y subterráneas, a fin de conseguir la protección sanitaria de hombres y animales, la posibilidad de utilizar para fines de bebida los manantiales y las aguas subterráneas, el tratamiento del agua superficial para hacerla apta para el consumo industrial y doméstico, los usos recreativos, la pesca, la protección de las construcciones fluviales e impedir la desfiguración del paisaje".

Las definiciones directas son varias. Así, la legislación Francesa dice:

"La polución del agua consiste en el vertido de residuos sólidos o líquidos, el depósito de materiales o cualquier otra acción susceptible de causar deterioro o incrementar el grado del mismo, en la calidad de las aguas, modificando sus características físicas, químicas, biológicas y bacteriológicas"

El Código de Agua polaco dice:

"La polución dañina consiste en la transformación de las características físicas, químicas y biológicas del agua como consecuencia de la introducción, en cantidad excesiva, de materia sólida, líquida o gaseosa, energía, materiales radioactivos o cualquier otra sustancia o material, con el resultado final de inhabilitar dichas aguas en su uso normal para fines domésticos, industriales, agrícolas, la pesca y otros".

Las Naciones Unidas las define:

"Un río esta polucionado cuando sus aguas son alteradas en su composición o estado, directa o indirectamente, como consecuencia de la actividad humana, de tal modo que quedan menos aptas para uno o todos los usos a que van destinados, para los cuales serían aptas en su calidad natural".

La Carta de Agua proclamada por la Asamblea Consultiva del Consejo de Europa dice:

"La polución consiste en una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, las actividades recreativas así como para los animales domésticos y la vida natural".

## **2. Tipos de polución**

La polución se puede dividir en dos grandes grupos:

- Polución provocada por causas naturales o geoquímicas
- Polución provocada como consecuencia de la actividad del hombre

Una y otra dan lugar a alteraciones físicas, químicas o biológicas del agua, haciéndola en muchos casos inservible para determinados usos.

Las alteraciones más importantes que pueden sufrir las aguas como consecuencia del aporte al seno de las mismas, de sustancias extrañas o por la presencia de ellas mismas, son físicas, químicas y biológicas.

### 3. Compuestos contaminantes

Los efectos nocivos que la polución produce son múltiples, entre los más importantes son de destacar:

- **Propagación de enfermedades transmisibles**
- **Acción tóxica y carcinogénica**
- **Reducción de las posibilidades de su empleo industrial y agropecuario**
- **Limitación del uso del agua con fines recreativos.**

Las aguas residuales tanto las de origen industrial como las de origen doméstico, al verterlas en el cauce de un río provocan alteraciones en los equilibrios físico-químicos y biológicos del agua. Ahora bien si esta agua que se vierte ha sido previamente tratada o depurada el trauma que producirá será menor que la que se vierte cruda, y tanto menor cuanto más complejo haya sido el tratamiento.

El grado de tratamiento debe estar de acuerdo con las características reológicas del cauce receptor, teniendo en cuenta: relación de caudales entre cauce receptor y vertido, estado de las aguas del río antes de recibir el vertido, característica del cauce receptor en los kilómetros posteriores al vertido (pendiente del río, presencia de rápidos y cascadas que facilitarán la aireación natural, etc.), posibilidad de otros vertidos aguas abajo, posibilidad de tomas de agua cerca del punto de vertido, etc.

Para esto es muy importante el conocimiento de las constantes de desoxigenación y reoxigenación, para poder saber en todo momento la carga que el río puede admitir, sin llegar a sufrir un desequilibrio biológico irreversible.

La polución de las aguas provoca una sucesión de acontecimientos indeseables fáciles de observar en un río, donde cada conjunto de éstos tiene lugar en una zona determinada, variable de unos días a otros, pero bien definida en el tiempo, que se puede controlar y medir desde el punto donde se realizó el vertido del agua residual que originó la polución.

Según lo anterior, se puede dividir un río polucionado en cuatro tramos o zonas bien definidas y fáciles de determinar, correspondientes a las cuatro fases más importantes que se observan en el mismo. Estas son ZONAS DE DEGRADACIÓN, ZONAS DE DESCOMPOSICIÓN ACTIVA, ZONAS DE RECUPERACIÓN Y ZONAS DE AGUA LIMPIA.

#### **Zona de degradación**

Se inicia la descomposición de la materia orgánica bajo la actividad bacteriana siendo sustituidas las formas superiores de vida por formas inferiores más tolerables. Las aguas en esta zona tienen aspecto sucio disminuyendo rápidamente el contenido de oxígeno, estando cerca del 40% de saturación.

#### **Zona de descomposición activa**

Se produce desprendimiento de gases, hay ausencia de oxígeno disuelto y condiciones sépticas. Las aguas tienen un aspecto pardusco o negro, apareciendo lodos flotantes, olores desagradables debido al sulfuro de hidrógeno. La descomposición como consecuencia de la ausencia de oxígeno es anaerobia, con aumento de dióxido de carbono y amoníaco.

### **Zona de recuperación**

El agua va adquiriendo sus condiciones normales a consecuencia de la oxidación de los materiales a costa del oxígeno del aire y del liberado por la acción fotosintética de los vegetales. Tiene una actividad inversa a la zona de degradación alcanzando mayor longitud.

Las aguas se van volviendo más claras, reapareciendo los vegetales verdes que desaparecieron en la fase de degradación, elevándose el contenido de oxígeno progresivamente hasta su contenido normal próximo a saturación.

### **Zona de agua limpia**

Las características de las aguas son casi similares a las de las aguas limpias naturales, existiendo en el seno la vida animal y vegetal que son normales en las corrientes que padecen solamente la polución natural o geoquímica.

## **4. El agua como vehículo transmisor de enfermedades**

Desde hace muchos siglos, los ríos han sido utilizados por el hombre como lugar idóneo para arrojar los desechos de sus actividades.

Es, entrado el siglo XIX, cuando el problema de la polución empieza hacerse notar de una manera generalizada, debido al acusado incremento experimentado por la población mundial, el avanzado estado de desarrollo industrial y el aumento excesivo de las concentraciones urbanas.

Esto último unido a que el hombre es el reservorio más frecuente de los agentes causales de las enfermedades infecciosas humanas, agentes que son eliminados fundamentalmente por las excretas, hacen que las aguas residuales sean las que en muchos casos transporten directa o indirectamente los agentes productores de enfermedades.

Este conocimiento de que el agua es capaz de transmitir enfermedades es muy antiguo, pues Hipócrates ya recomendaba la ingestión del agua hervida con el objeto de evitar las mismas.

Tiene pues gran importancia un control riguroso de las plantas de tratamiento y depuración de las aguas. Unas y otras contribuyen cuando funcionan bien, a un mayor bienestar del hombre y al mejoramiento general de la salud.

## **5. Medición analítica de la polución**

La medición analítica de la polución se hace atendiendo a los procesos que suministran la química, la física, la bacteriología y la biología, aplicados al agua.

Considerar los efluentes de distintas procedencias e incluso un determinado efluente, en el tiempo, desde un punto de vista único, aplicando a todos los mismos parámetros para medir el grado de polución es un error muy grande que no se debe nunca cometer.

Los índices de polución deben ser elegidos en cada caso, de acuerdo con el origen del agua y de los posibles vertidos que soportó, no olvidando el destino que se le vaya a dar.

En general, al aplicar los métodos analíticos, se ha adoptado la costumbre de considerar a los componentes inorgánicos menos significativos que los orgánicos, lo cual en cierto modo es vareado, ya que aquellos alteran menos la composición del agua desde el punto de vista sanitario, criterio que en la mayoría de los casos tiene prioridad.

Se han considerado como índices fundamentales para medir la calidad de las aguas, los siguientes:

- Concentración de oxígeno disuelto
- Concentración de materia oxidable por vía biológica (DBO)
- Concentración de amonio
- Salinidad
- Temperatura
- Bacterias nocivas

Se ve pues, que a estos índices habría que añadir otro a fin de poder hacer un diagnóstico exacto del estado del agua que se desea estudiar. Por ejemplo, la concentración de materia oxidable por vía química (DQO), carbono total, nitritos, turbiedad, pH, etc.

El criterio a seguir para escoger en cada caso un índice u otro lo da fundamentalmente la experiencia de acuerdo con la procedencia de las contaminaciones y el destino que se vaya a dar al agua. Hay que advertir que ningún índice único es satisfactorio, y que en cada caso debe procurarse determinar el mayor número de ellos posible.

## 6. Problemas de la polución del agua

Para el estudio de un río de deben hacer las determinaciones que se indican.

### Determinaciones a realizar para el estudio de un río

#### EN CAMPO

Temperatura del agua y del aire  
pH  
Amonio  
Nitritos  
Oxígeno Disuelto

#### EN LABORATORIO

Conductividad  
Materia en suspensión  
Materia decantable  
Grasas  
Nitratos  
Fosfatos  
Detergentes  
Concentración de materia orgánica oxidable por vía química (DQO)  
Concentración de materia orgánica oxidable por vía biológica (DBO)  
Bacterias nocivas  
Estudios biológicos

La toma de muestras debe hacerse por un especialista ya que es una operación muy importante por depender de ella, en muchos casos, la exactitud del análisis.

## V. PARÁMETROS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS

Antes de proceder a una descripción de los procesos disponibles para mejorar la calidad de las aguas, es conveniente revisar los parámetros utilizados para definir su calidad. Algunos de estos parámetros se utilizan en el control de los procesos de tratamiento realizando mediciones de forma continua o discreta. Además de las definiciones se resumen sus efectos más importantes, la forma usual de análisis o medición y el tratamiento adecuado.

Los parámetros se pueden clasificar en cuatro grandes grupos:

- Físicos,
- Químicos,
- Biológicos
- Radiológicos.

También se describen los índices de estabilidad de las aguas carbonato-cálcicas, utilizados en el control de la formación de incrustaciones.

### 1. Alteraciones físicas

- Color
- Olor
- Sabor
- Temperatura
- Turbidez
- Conductividad y Resistividad

#### Color

Todas las aguas, presentan una tonalidad variable dependiendo de muy variadas circunstancias. Esta tonalidad más o menos acusada, es el color del agua que tiene origen en causas internas y externas.

Las primeras son debidas a los materiales disueltos y a los suspendidos en las mismas aguas, y las segundas, tienen su origen en la absorción de las radiaciones de mayor longitud de onda.

A su vez, este color de agua es de dos tipos: APARENTE, el que presenta el agua bruta y VERDADERO, el que queda de haber separado las materias en suspensión.

Las sustancias productoras de color son varias: color pardo por materia orgánica diversa, color verde por ser rica en fitoplancton, clorofila, etc., color rojizo por las sales de hierro, etc.

En relación con las aguas tratadas, éstas pueden presentar una coloración debido a defectos de tratamiento, es decir, que no haya sido capaz de quitarle el color.

Las aguas negras o sanitarias recientes, tienen color gris, que van pasando a oscuras e incluso negro cuando estas se alteran.

Los desechos industriales, dan a veces a las aguas, colores característicos, pero en general no se puede establecer ninguna relación entre el color y el grado de polución.

La materia colorante, sea probablemente una mezcla compleja de un cierto número de compuestos orgánicos en forma coloidal y que la mayoría de estos compuestos tienen carga eléctrica. Estas partículas responsables del color están fundamentalmente provistas de carga negativa y pueden descargarse y flocular cuando se las somete a la acción de un campo eléctrico.

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. No se puede atribuir a ningún constituyente en exclusiva, aunque ciertos colores en aguas naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes. El agua pura sólo es azulada en grandes espesores. En general presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales, como el color amarillento debido a los ácidos húmicos. La presencia de hierro puede

darle color rojizo, y la del manganeso un color negro. El color afecta estéticamente la potabilidad de las aguas, puede representar un potencial colorante de ciertos productos cuando se utiliza como material de proceso, y un potencial espumante en su uso en calderas.

### **Sabor y Olor**

El sabor y olor del agua son determinaciones organolépticas de determinación subjetiva, para las cuales no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida.

Tienen un interés evidente en las aguas potables destinadas al consumo humano. Las aguas adquieren un sabor salado a partir de los 300 ppm de Cl<sup>-</sup> y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, el CO<sub>2</sub> libre le da un gusto picante. Trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un color y sabor desagradables.

**Olor:** El olor presente en el agua puede ser debido a la presencia en la misma de compuestos químicos como, los fenoles, el cloro, a materia orgánica en descomposición o a ciertos organismos. Olores muy desagradables pueden ser causados por esencias liberadas en pequeñas cantidades por los organismos vivos (algas, hongos, etc.). Las aguas negras domésticas cuando se descomponen huelen fuertemente a podrido, por desprendimiento de sulfhídrico, putrecina, etc. Algunos malos olores se desarrollan como consecuencia del tratamiento de depuración del agua con cloro, por formar clorofenoles, tricloruros de nitrógeno, etc.

**Sabor:** El sabor está estrechamente ligado al olor, por esto las causas apuntadas para el olor pueden ser aplicadas para el sabor. Sin embargo, a veces, las sustancias minerales disueltas pueden dar sabor sin conferirle olor. Las sales de cobre, cinc, hierro, etc. Los cloruros le confieren sabor salado. Los clorofenoles dan un cierto sabor al agua aún antes de ser perceptible su contenido al olfato.

### **Temperatura**

La temperatura, tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos problemas en la solubilidad de gases y en las sales, así como en las reacciones biológicas que tienen que tener una cierta temperatura para su desarrollo, como un factor de control o factor letal. Una temperatura mayor implica una aceleración en la putrefacción y, por lo tanto una mayor demanda de oxígeno. Las temperaturas inferiores hacen que el metabolismo se reduzca y las superiores hacen que se sobre activen los procesos.

### **Turbidez**

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua.

La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias. Las aguas subterráneas suelen tener valores inferiores a 1 ppm de sílice, pero las superficiales pueden alcanzar varias decenas. Las aguas con 1 ppm son muy transparentes y permiten ver a su través hasta profundidades de 4 o 5 m. Con 10 ppm, que sería el máximo deseable para una buena operación de los filtros, la transparencia se acerca al metro de profundidad. Por encima de 100 ppm la transparencia está por debajo de los 10 cm y los filtros se obstruyen rápidamente. La turbidez se elimina mediante procesos de coagulación, decantación y filtración.

## **Sólidos en suspensión**

Como se ha manifestado precedentemente, el agua en acción de transporte puede realizar tres caminos, arrastre, suspensión y disolución. Los dos primeros se realizan con las partículas insolubles y el tercero se realiza sobre las sustancias que son capaces de disolverse.

Las partículas en suspensión pueden dividirse por su tamaño, las que pueden formar suspensiones estables aún en agua en reposo y las que forman suspensiones cuando son agitadas. Las primeras originan la llamada TURBIEDAD, su medida se realiza una vez dejada sedimentar la materia en suspensión durante un tiempo conveniente.

Se llama sedimento, al material que debido a su tamaño se deposita rápidamente. La cantidad de materia en suspensión se determina por filtrado de un volumen de agua determinado.

## **Conductividad y Resistividad**

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, y en su casi totalidad es el resultado del movimiento de los iones de las impurezas presentes. La resistividad es la medida recíproca de la conductividad.

El aparato utilizado es el conductímetro cuyo fundamento es la medida eléctrica de la resistencia de paso de la electricidad entre las dos caras opuestas de un prisma rectangular comparada con la de una solución de ClK a la misma temperatura y referida a 20°C.

La medida de la conductividad es una buena forma de control de calidad de un agua, siempre que:

- No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables.
- Las mediciones se realizan a la misma temperatura.
- La composición del agua se mantenga relativamente constante.

La unidad estándar de resistencia eléctrica es el ohm y la resistividad de las aguas se expresa convenientemente en megaohms/centímetro. La conductividad se expresa en el valor recíproco, normalmente como microsiemens por centímetro.

## **2. Alteraciones químicas**

Las alteraciones químicas, producidas por compuestos químicos vertidos a las aguas son quizás las más importantes y las más comunes, tanto por los efectos que producen, como por las consecuencias funestas que acarrear. Estos compuestos químicos causantes de estas alteraciones pueden ser de origen orgánico o inorgánico.

Las alteraciones químicas producidas por productos orgánicos son muy complejas, tanto por sus consecuencias como por las sustancias que pueden ser causa de esta alteración. En la práctica se suele relacionar las sustancias contaminantes con la industria que realizó el vertido.

## Parámetros químicos

- pH
- Dureza
- Sólidos totales
- Sólidos en suspensión
- Sólidos disueltos
- Alcalinidad
- Coloides
- Acidez mineral
- Sustancias químicas
- Formación de espuma

### pH

El pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno, y se define como  $\text{pH} = \log(1/[\text{H}^+])$ . Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. La mayoría de aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8.

Su medición se realiza fácilmente con un pH metro bien calibrado, aunque también se puede disponer de papeles especiales que, por coloración, indican el pH. Los valores del pH han de ser referidos a la temperatura de medición, pues varían con ella. El pH se corrige por neutralización.

### Dureza

La dureza, debida a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales, siendo la principal fuente de depósitos e incrustaciones en calderas, intercambiadores de calor, tuberías, etc.

Por contra, las aguas muy blandas son agresivas y pueden no ser indicadas para el consumo. Dureza temporal o carbonatada. Mide la dureza asociada a iones  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , eliminable por ebullición, y es la diferencia entre la dureza total y la permanente.

### Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonato,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , carbonato,  $\text{CO}_3^{=}$ , y oxhidrilo,  $\text{OH}^-$ , pero también los fosfatos y ácido silícico u otros ácidos de carácter débil.

Los bicarbonatos y los carbonatos pueden producir  $\text{CO}_2$  en el vapor, que es una fuente de corrosión en las líneas de condensado. También pueden producir espumas, provocar arrastre de sólidos con el vapor y fragilizar el acero de las calderas.

### Sólidos Totales

Corresponden con el residuo seco, después de someter a estufa a  $105^\circ\text{C}$ . Se dividen en volátiles y fijos.

**Fijos:** Residuo a estufa a  $500^\circ\text{C}$ - $600^\circ\text{C}$ .

**Volátiles:** La diferencia respecto a sólidos totales. Representan la contaminación de procedencia orgánica.

Los **sólidos totales** se dividen a su vez en S. SUSPENSIÓN y S. DISUELTOS en función del paso o no por membrana filtrante.

A su vez los sólidos en suspensión y disueltos pueden ser fijos o volátiles.

Por otro lado los sólidos en suspensión pueden ser sedimentables o no según tengan la propiedad de separarse por gravedad en agua en reposo. El tamaño de las partículas sedimentables es como mínimo de una micra.

Por último los sólidos TOTALES se pueden también dividir en ORGÁNICOS e INORGÁNICOS.

**Sólidos Disueltos:** Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico e inorgánico, tanto en aguas subterráneas como superficiales. Aunque para las aguas potables se indica un valor máximo deseable de 500 ppm, el valor de los sólidos disueltos no es por si solo suficiente para determinar la bondad del agua.

**Sólidos en suspensión:** Los sólidos en suspensión (SS), es una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser retenidos en un filtro. Se pueden determinar pesando el residuo que queda en el filtro, después de secado. Son indeseables en las aguas de proceso porque pueden causar depósitos en las conducciones, calderas, equipos, etc. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, pero en las superficiales varía mucho en función del origen y las circunstancias de la captación. Se separan por filtración y decantación.

### **Nutrientes**

De origen fundamentalmente agrícola (fertilizantes). Los principales indicadores son el contenido de nitrógeno y fósforo.

Son los causantes básicos de la eutrofización en lagos y embalses e incluso en los ríos que aportan sus aguas a estas masas de agua. Los ríos contaminados pueden clasificarse atendiendo al contenido en nutrientes y de parámetros indicadores de la contaminación tales como la DBO5.

- Sustancias químicas
- Cloruros
- Sulfatos
- Nitratos
- Fosfatos
- Fluoruros
- Sílice
- Bicarbonatos y carbonatos

### **Productos químicos tóxicos**

Se incluyen aquí una gran cantidad de productos orgánicos e inorgánicos que por sus características y aún en pequeñas concentraciones pueden causar efectos letales en los seres vivos.

Así las sustancias tales como: MERCURIO, CADMIO, CIANUROS, CROMO, PLOMO, BARIO Y SELENIO, producen efectos letales en concentraciones bajas. (1 mg/l e inferiores).

### 3. Alteraciones biológicas

Las alteraciones biológicas suponen, por una parte, el aumento de la presencia de bacterias patógenas, virus, etc., capaces de producir enfermedades y la ausencia de animales y plantas debido a no existir en disolución el oxígeno disuelto necesario para la vida en el seno del agua.

#### **Organismos patógenos presentes en aguas residuales urbanas**

Los diferentes patógenos presentes en las aguas residuales se pueden resumir en:

**Virus:** Existe una gran cantidad de virus que pueden afectar el tracto intestinal y pasar a las heces. Un gramo de heces humanas puede contener 10<sup>9</sup> partículas de virus infecciosas. Los virus excretados pueden sobrevivir durante varias semanas en el medio ambiente, especialmente si las temperaturas son frías (menores de 10°C).

**Bacterias:** Las heces de las personas sanas contienen gran cantidad de bacterias de diversas especies. Normalmente son usadas como indicadores de contaminación fecal. Entre ellas, Escherichia Coli, Clostridium, Bacteroides, etc. La vía de entrada más común en el ser humano es la ingestión, pero también la vía respiratoria por inhalación de aerosoles.

La diarrea es el síntoma de gran cantidad de infecciones bacterianas. Las bacterias pueden invadir el cuerpo y causar infecciones. La invasión es la característica de las fiebres tifoideas causadas por la salmonella, que puede encontrarse en la sangre y también en la orina. Mención especial para ciertas enfermedades endémicas como el cólera, que en la mayor parte de los casos su vía de transmisión es el agua residual.

**Protozoos:** Existen muchas especies que pueden infectar al hombre y causarle enfermedades. La mayor parte de las veces residen en el tracto intestinal del hombre y otros animales donde pueden causar diarrea y disentería.

En general un agua que contenga menos de 4 mg/l de oxígeno disuelto no es apta para el desarrollo de la vida en su seno. A veces sin embargo, aunque hay oxígeno presente, las aguas están polucionadas por la presencia de sustancias inorgánicas, que al no ser reductoras no reducen la presencia de oxígeno pero sin embargo crean otras alteraciones en las propiedades del agua, que la hacen impropias para muchos usos.

#### **Demanda química de oxígeno (DQO)**

También llamada inmediata, es la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua sin intervención de los organismos vivos.

Se ideó a fin de soslayar las dificultades que presenta la DBO, fundamentalmente en lo que se refiere al tiempo.

#### **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La DBO en las aguas polucionadas es la cantidad de oxígeno en mg/l necesaria para descomponer la materia orgánica presente, por la acción bioquímica aerobia.

Esta demanda de oxígeno la ejercen los materiales carbonados, nitrogenados y ciertos compuestos químicos reductores.

La transformación biológica de la materia orgánica se realiza en dos etapas. En la primera, se oxidan principalmente los compuestos carbonados y en la segunda los nitrogenados. Aquella, empieza inmediatamente y termina aproximadamente a los veinte días a 20°C. La segunda no comienza antes de los diez días a 20°C y se prolonga por un período más largo.

Se ve que de las clases de sustancias presentes depende la forma en que se ejerce la demanda, el punto final puede tardar en alcanzarse mucho tiempo.

Por esto se ha aceptado, como regla general, el período de cinco días de incubación, a la temperatura de 20°C.

La demanda bioquímica de oxígeno es la prueba más importante que se emplea para determinar una polución. Es una prueba que reduce a números un fenómeno natural, muy sencillo en teoría, pero en esencia muy complejo.

### **Parámetros bacteriológicos**

La bacteria *Escherichia coli*, y el grupo coliforme en su conjunto, son los organismos más comunes utilizados como indicadores de la contaminación fecal. La presencia de microorganismos no tiene importancia en muchos procesos industriales pero la industria alimentaria requiere agua de calidad potable.

Según el destino del agua, la eliminación de bacterias se realiza por filtración, tratamiento biológico, o esterilización por luz ultravioleta, cloración u ozonización.

### **4. Parámetro radioactividad**

La presencia de materiales radiactivos en las aguas es un riesgo de importancia creciente. Al estar sometidas las fuentes de suministro a un creciente peligro de contaminación, las autoridades han establecido valores límites de aceptación.

## **VI. CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

### **1. Introducción**

El control de la contaminación del agua por parte de industrias de procesos químicos, puede dividirse en cinco categorías básicas:

1. Tratamiento preliminar
2. Tratamiento primario
3. Tratamiento secundario
4. Tratamiento terciario
5. Manejo de sólidos

La selección de la tecnología para control de la contaminación del agua se basa en las características iniciales del agua y el alcance del tratamiento necesario.

Las características del agua residual tienen muchos componentes:

#### **Físicas:**

- Flujo
- Temperatura
- Sólidos

**Químicas:**

- Acidez
- pH
- Materias orgánicas
- Materias inorgánicas
- Alcalinidad

**Biológicas:**

- DBO

**Cieno:**

- Porcentaje de sólidos

## **2. Sistemas de tratamiento de las aguas residuales**

Una vez conocidas las características del agua residual y analizadas todas las necesidades y condicionantes así como los objetivos de calidad que se persiguen, es necesario conocer los diferentes sistemas que el ingeniero tiene a su disposición para llegar a cumplirlos, sin olvidar tampoco unos objetivos de tipo económico.

Existen muchas clasificaciones de los diferentes métodos, a continuación resumiremos los más usuales:

Los contaminantes del agua residual se pueden eliminar por medios físicos, químicos y biológicos.

Normalmente un sistema de tratamiento (o fase del proceso) es una combinación de los mismos. A efectos de clasificación se considera el efecto predominante.

### **A. Procesos físicos**

Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas se conocen como procesos físicos. Aquí incluimos:

- Desbaste por rejillas, tamices, filtración mecánica.
- Desengrasado
- Sedimentación
- Flotación
- Evaporación
- Absorción

### **B. Procesos químicos**

Los métodos de tratamiento en los que la eliminación de contaminantes es provocada por la adición de productos químicos o por otras reacciones químicas se conocen con el nombre de procesos químicos. Se pueden incluir:

- Floculación y coagulación
- Neutralización
- Oxidación
- Reducción
- Intercambio iónico
- Adsorción
- Desinfección.

### C. Procesos biológicos

Los métodos de tratamientos en los cuales se consigue la eliminación de contaminantes por una actividad biológica son conocidos como procesos biológicos.

El tratamiento biológico se usa esencialmente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) presentes en el agua residual. Básicamente, estas sustancias se transforman en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que puede posteriormente eliminarse por sedimentación. Entre ellos citamos:

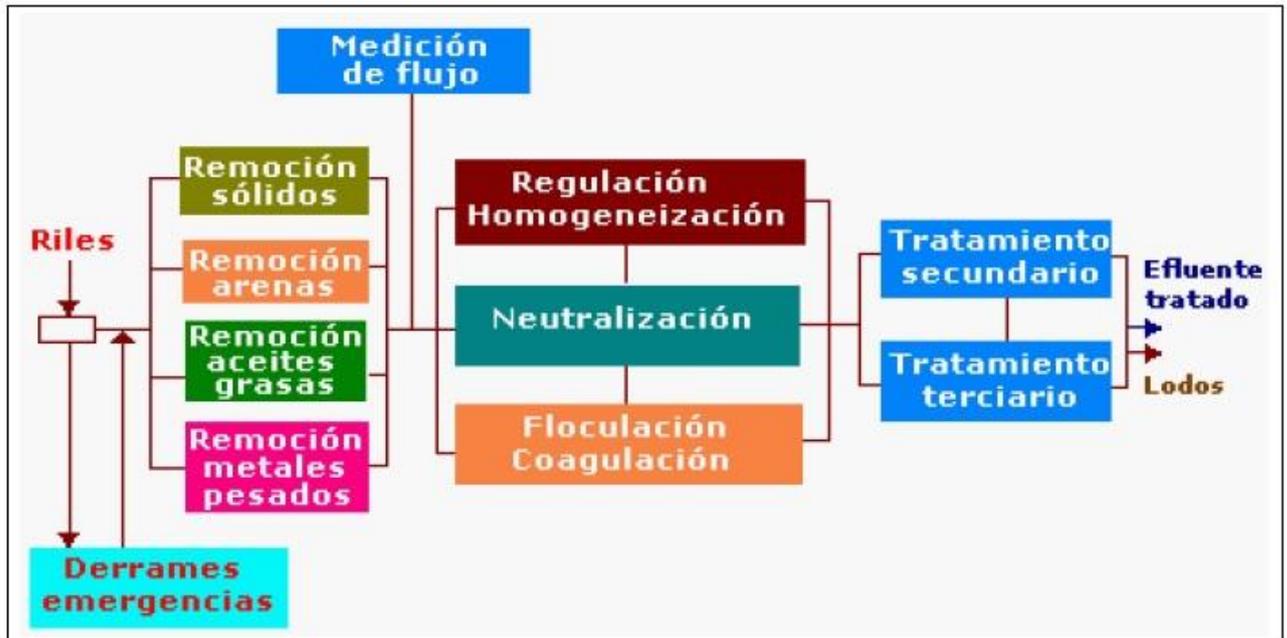
- Fangos activos
- Lechos bacterianos
- Lagunaje
- Biodiscos
- Sistemas de aplicación al suelo

Según la fase de la depuración Los sistemas de tratamiento de aguas residuales podemos clasificarlos teniendo en cuenta también los rendimientos alcanzados en el proceso de depuración. Esta clasificación es todavía utilizada aunque como en el caso anterior no siempre es posible encuadrar un tratamiento dentro de una fase concreta.

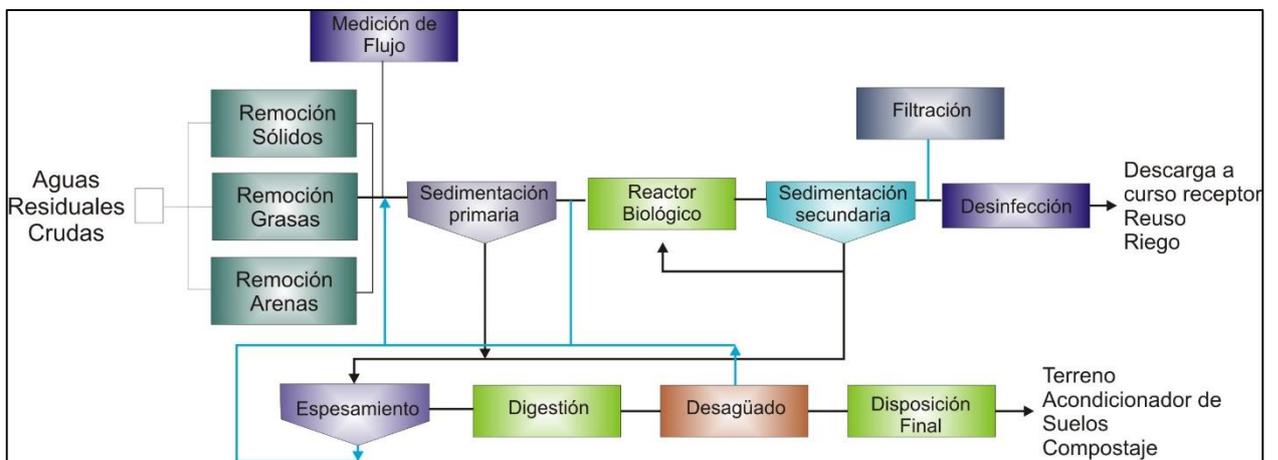
La Unidades de procesos que típicamente se involucran en el control de contaminación del agua, se presentan en forma sistemática a continuación.



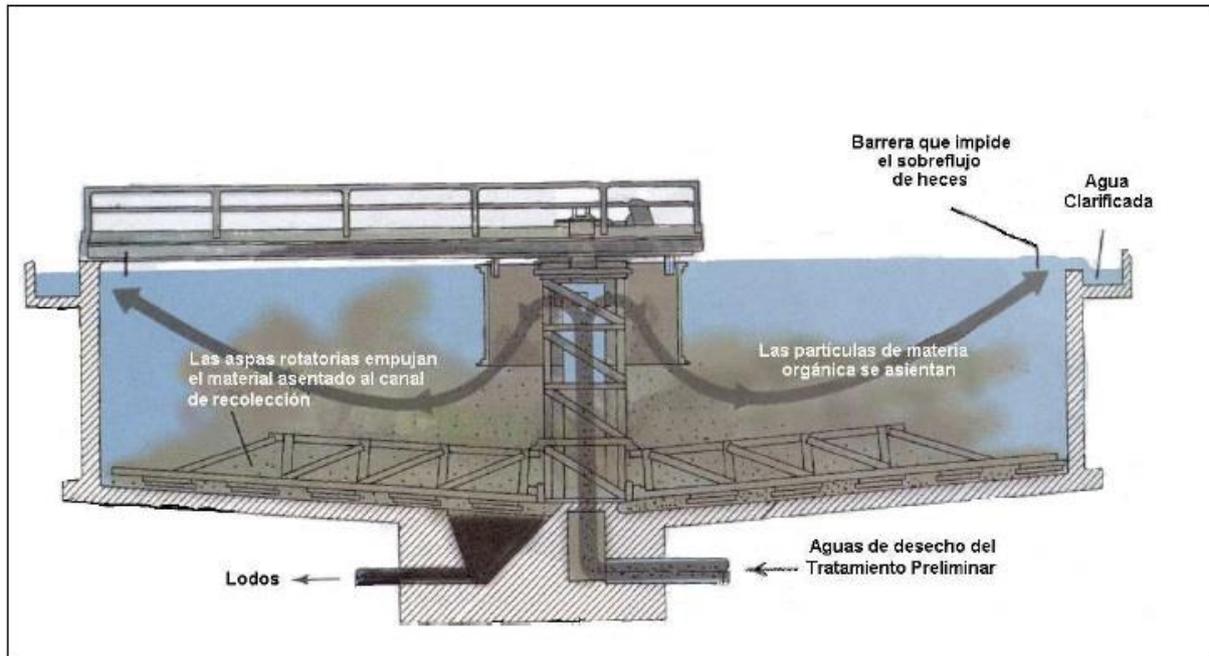
### Residuos industriales líquidos, en adelante riles



### Sistema integral de tratamiento



## Desarenador Flujo Horizontal



### 3. Tratamiento preliminar

El objeto del tratamiento preliminar es remover partículas flotantes y rápidamente asentar las partículas que puedan ofrecer dificultades en la operación del equipo de tratamiento de agua residual.

Típicamente el equipo usado en el tratamiento preliminar incluye el desbaste, eliminación de todos los componentes de tamaño considerable que pueden interferir en el tratamiento posterior. Esta separación de gruesos permite básicamente la protección de los equipos:

- Rejas
- Tamices
- Cernidores de barra y trituradores
- Equipo para remoción de arenisca

Para proteger las unidades principales de tratamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales y asegurar su eficiencia es necesario remover los sólidos flotantes grandes y los sólidos suspendidos que frecuentemente están presentes en el caudal de entrada. Estos materiales pueden ser hojas, ramas, papel, trapos y otros desechos que pueden obstruir el flujo a través de la planta o dañar el equipamiento instalado.

El procedimiento más usual consiste en la instalación de rejas a través de las que pasan las aguas residuales crudas. Las rejas se clasifican según su tamaño, su forma y su sistema de limpieza. Su tamaño, o separación entre barras, determina el volumen de sólidos retenidos:

- finas, entre 3- 10 mm,
- medias, entre 10-25mm
- gruesas de 50 a 100 mm

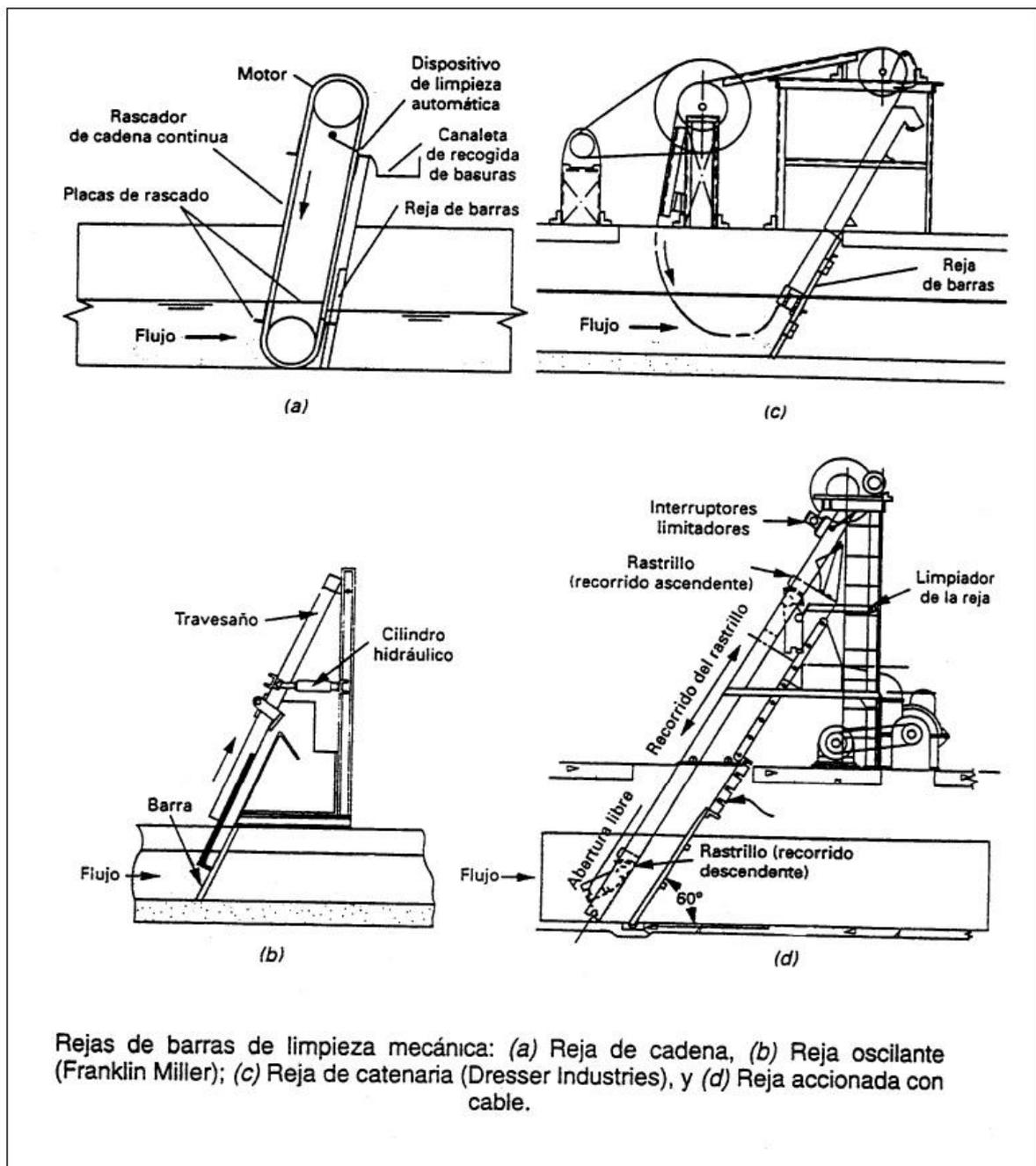
Pueden ser manuales o mecánicas y la pendiente mínima en las manuales es de 45°, mientras que las mecánicas aceptan mayores inclinaciones.

Para separaciones inferiores a 25 mm los sólidos retenidos oscilan entre 20 y 1000 litros de sólidos por cada 1000 m<sup>3</sup> de agua tratada.

Según su forma pueden ser curvas o rectas y verticales o inclinadas. Las rejas de limpieza manual se emplean para caudales no muy grandes y necesitan vigilancia constante para evitar la colmatación.

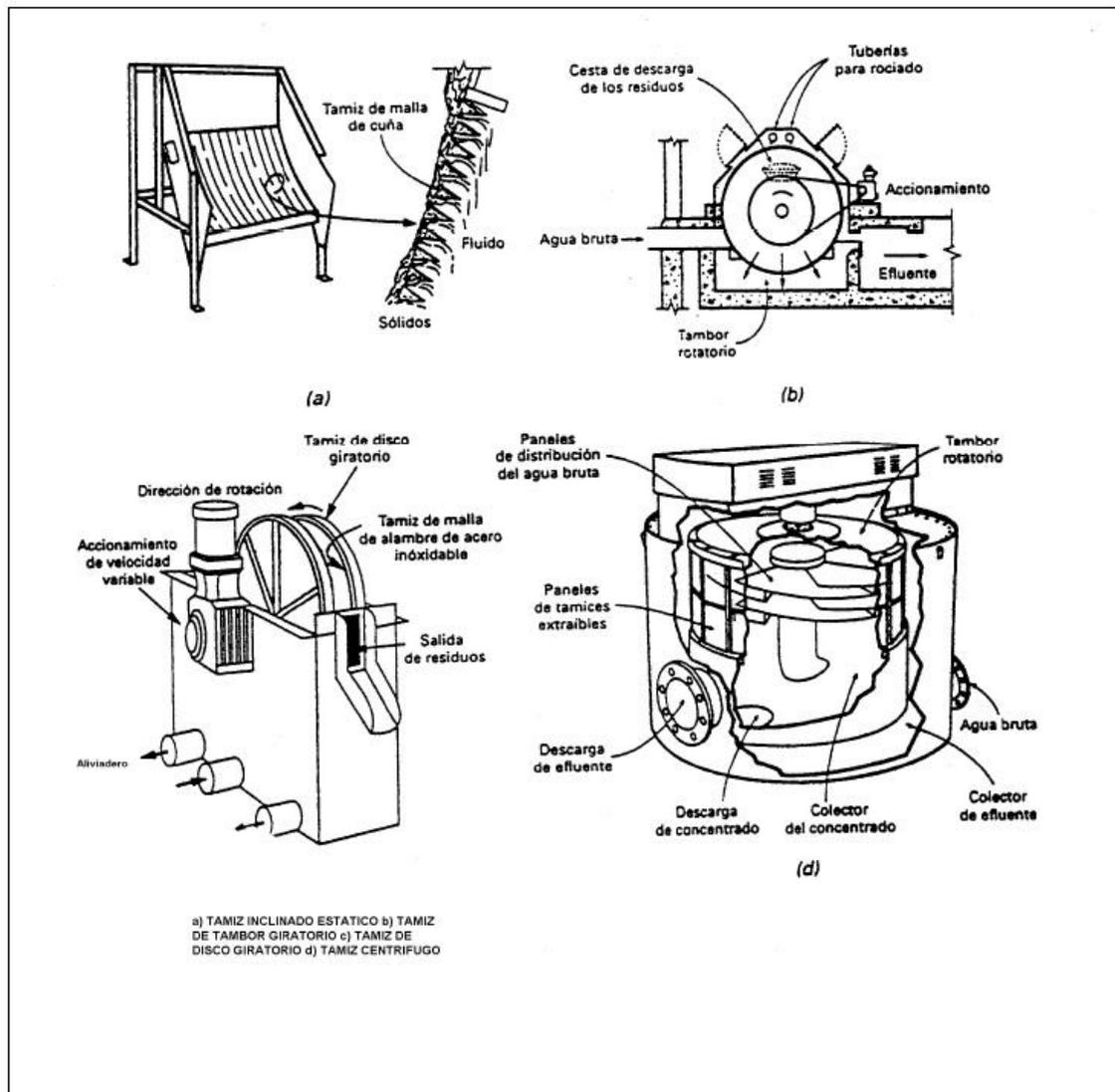
Las rejas automáticas disponen de un rastrillo que elimina los materiales depositados.

Los residuos removidos por las rejas se pueden retirar por descarga sobre contenedor, sobre plataforma drenada o eliminarse por cinta transportadora. El destino final suele ser un vertedero.



Tamices: Su campo de aplicación se extiende desde el tratamiento primario hasta la eliminación de los sólidos suspendidos residuales de los efluentes procedentes de los procesos de tratamientos biológicos.

Los principales tipos de tamices son: de disco giratorio, inclinado estático, de tambor giratorio y centrífugo.



El principal objetivo del cernido es la protección de las bombas y el equipo que se use después:

- Partículas mayores de 19-25 mm son removidas por los cernidores de barra
- La operación de trituración quiebra los sólidos en particular pequeñas
- La apertura de un cernidor de barra es típicamente de 9 mm a 30 mm

**Remoción arenas (desarenadores):** La remoción de arenisca es diseñada para remover partículas pequeñas de alta gravedad específica, para proteger bombas y prevenir erosión y problemas de desgaste.

Los sistemas de remoción de arenisca están diseñados para remover partículas cuyo tamaño oscila entre 0.17 y 0.25 mm de diámetro.

Es práctica usual la de designar para las partículas una gravedad específica de 2.65 y una velocidad de 1 pie por segundo.

El término arena incluye también residuos tales como cenizas, cáscaras de huevo, huesos, etc. La finalidad de la remoción es impedir la abrasión, evitar los depósitos en tuberías y eliminar los inertes del tratamiento de lodos.

Esta operación está precedida por el desbaste y es un proceso simultáneo con la separación de aceites y la pre aireación generalmente.

El valor de diseño medio para la densidad relativa de las arenas es de 2.65 y el diámetro de la arena suele ser superior a 0.2 mm.

Los desarenadores se diseñan de forma que el tiempo de retención y la velocidad ascensional del agua permitan que las partículas de determinados diámetros y densidad queden retenidas al 100%, y las más pequeñas o más ligeras en porcentajes inferiores.

### **Tipos de desarenadores**

- Desarenadores de flujo horizontal. Los más sencillos son simples canales horizontales con rebosaderos de regulación y limpieza manual de arena. Se utilizan exclusivamente en pequeñas instalaciones y los tiempos de retención oscilan entre 1 y 2 minutos.
- Desarenadores a nivel constante. Son simples decantadores troncocónicos o circulares, normalmente con alimentación central y evacuación periférica, y para su diseño sólo debe tenerse en cuenta el caudal máximo y la velocidad de caída de la arena a retener.
- Desarenadores aireados. Son los más usados actualmente. Consisten en estanques rectangulares provistos de difusores de aire, colocados a 0.5-0.9 m del fondo, que provocan un flujo helicoidal del agua perpendicularmente a la dirección de paso.

Las ventajas que han hecho que se generalice su uso son:

- La aireación evita o aminora la producción de olores y reduce algo la carga orgánica.
- La arena recogida está exenta prácticamente de productos orgánicos.
- Existe la posibilidad de eliminar distintos tipos de arena actuando sobre el caudal de aire.
- Puede actuar como desengrasador.
- Sus rendimientos son constantes para variaciones grandes de caudal.

La arena extraída se evacua al vertedero, a veces previo secado en eras.

Hay en el mercado varios aparatos diseñados para este trabajo:

- De cadena y raspador
- De cadena y cubo
- De "ciclón" de arenisca
- De cámara de vórtice

## **4. Tratamiento primario.**

El Tratamiento primario está diseñado para remover materias inorgánicas, aceite y grasa, y sólidos, para preparar el desecho para descargarlo en aguas que lo reciban o para tratamiento posterior.

El tratamiento primario en:

- Neutralización
- Remoción de aceite y grasa

- Sedimentación
- Igualación

Discutiremos cada uno de estos puntos brevemente

### **Neutralización /control del pH**

La neutralización está vinculada a la reacción de compuestos que contienen iones de hidrógeno o hidróxido para formar agua y sales y resultar en agua residual con pH neutral.

Hay muchos aspectos que deben considerarse para una neutralización adecuada:

- Normalización del flujo y el pH para amortiguar las variaciones en la necesidad de químicos
- Tipos de químicos que serán usados y su impacto en costos y en los equipos.
- Generación del volumen de barros y su disposición.

Muchos desechos industriales requieren por lo menos neutralización (pH 5.0-9.0) antes de que sean descargados en aguas que los reciban.

Tratamiento biológico que requiere un pH de 6.5 a 7.5

Los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales operan de forma más efectiva en un pH de 7. Variaciones en el pH pueden tener un gran impacto en la eficacia del tratamiento y llegar a inhibir totalmente la actividad microbial.

Por otra parte un pH de menos de 5 puede causar corrosión en la estructura del sistema colector, y un pH de 11-12 o más puede causar quemaduras a los trabajadores de la planta de tratamiento que entren en contacto con las aguas residuales.

Otra razón por la que se debe mantener el pH bajo control es para mejorar lo más posible los resultados del pretratamiento. El pH es especialmente importante en los procedimientos para la eliminación de metales, por lo que es un componente crucial en el pretratamiento de aguas residuales.

El sistema de control del pH es generalmente uno de los siguientes tres tipos:

- continuo sin control
- controlado por tandas
- continuo controlado

El más simple de todos es un sistema continuo sin control, que consiste en hacer pasar una corriente de aguas residuales ácidas sobre un lecho de trozos de piedra caliza.

Otro método es tratar las aguas residuales por lotes. En este caso se mide el pH, se añade ácido o base, y se vuelve a medir el pH hasta que se logra el nivel deseado y se puede descargar el agua al alcantarillado o someterla a cualquier otro tipo de tratamiento adicional que sea necesario.

El método más avanzado para controlar el pH es un sistema continuo con telesensores que miden el pH y añaden los productos químicos necesarios. En este método el sensor mide el pH y envía mensajes a un sistema de bombeo para que añada el producto químico neutralizador que corresponda, y luego se mezcla el agua residual para asegurarse que la distribución del neutralizador sea homogénea.

Existen sistemas más complejos con múltiples telesensores del pH y múltiples puntos de adición química para asegurar aún más el proceso y obtener pH más constantes.

Para que el sistema funcione correctamente es esencial mantener los electrodos limpios, ya que tienen tendencia a obstruirse especialmente en aguas residuales muy corrosivas.

### **Remoción de aceite y grasa**

Es una separación líquido-líquido para el caso de aceites y líquido-sólido para el caso de grasas.

En general, se realiza en origen en el caso de aguas industriales y combinado con el desarenado en el caso de efluentes urbanos. Todos los sistemas provocan una reducida velocidad de flujo y una superficie tranquila.

Para pequeños caudales existen unidades compactas con tiempos de retención de 3 a 5 min y caudales de 20 a 30 l/min, con una velocidad ascensional de unos 15 m/hora.

Para el agua con gran cantidad de grasa, por ejemplo, efluentes de mataderos, se puede acudir a desengrasadores aireados, con un tiempo de retención medio de 10-15 min y un caudal de aire de 0.5 a 2 m<sup>3</sup> de aire/hora y m<sup>3</sup> de desengrasador.

Para la industria petroquímica se han desarrollado sistemas más complejos, como los separadores API y de placas.

La remoción de grasa y aceite se practica ampliamente en la industria petrolera utilizando los separadores del Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute - API) o de flotación.

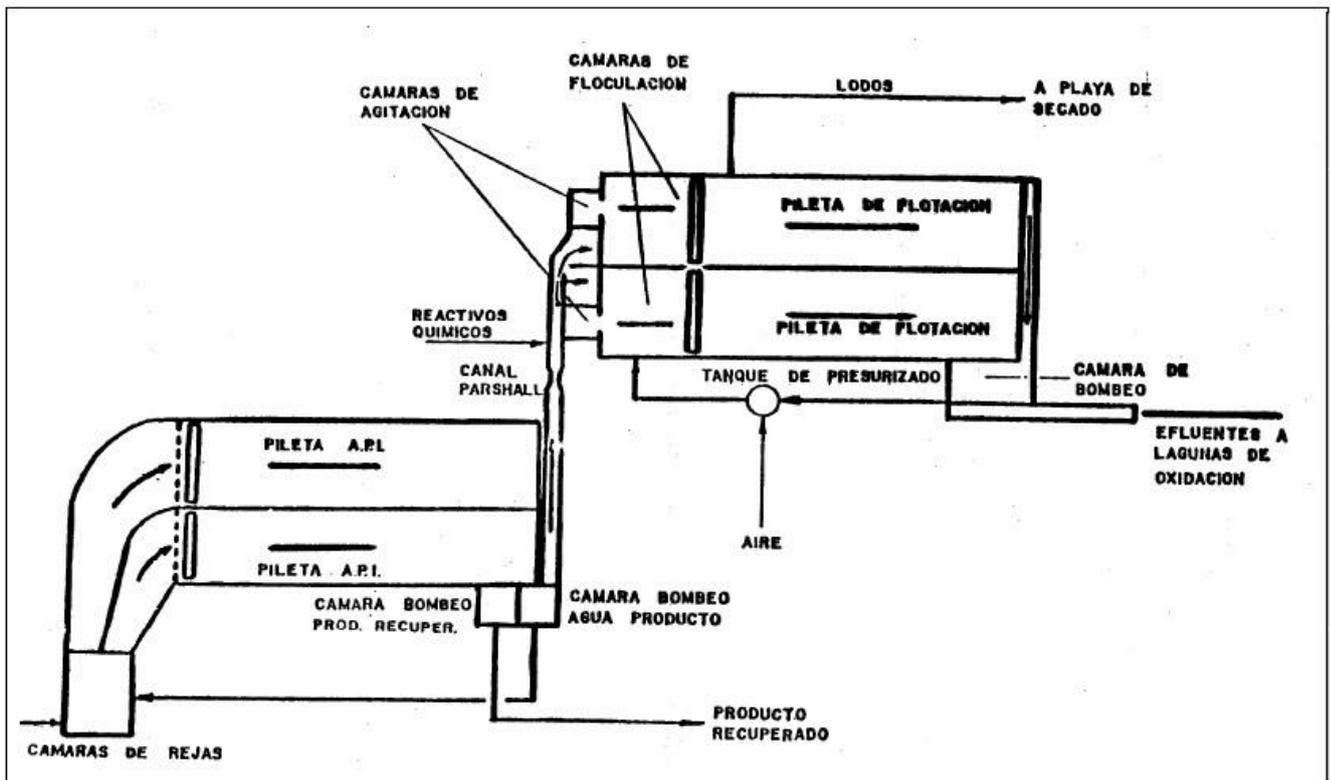
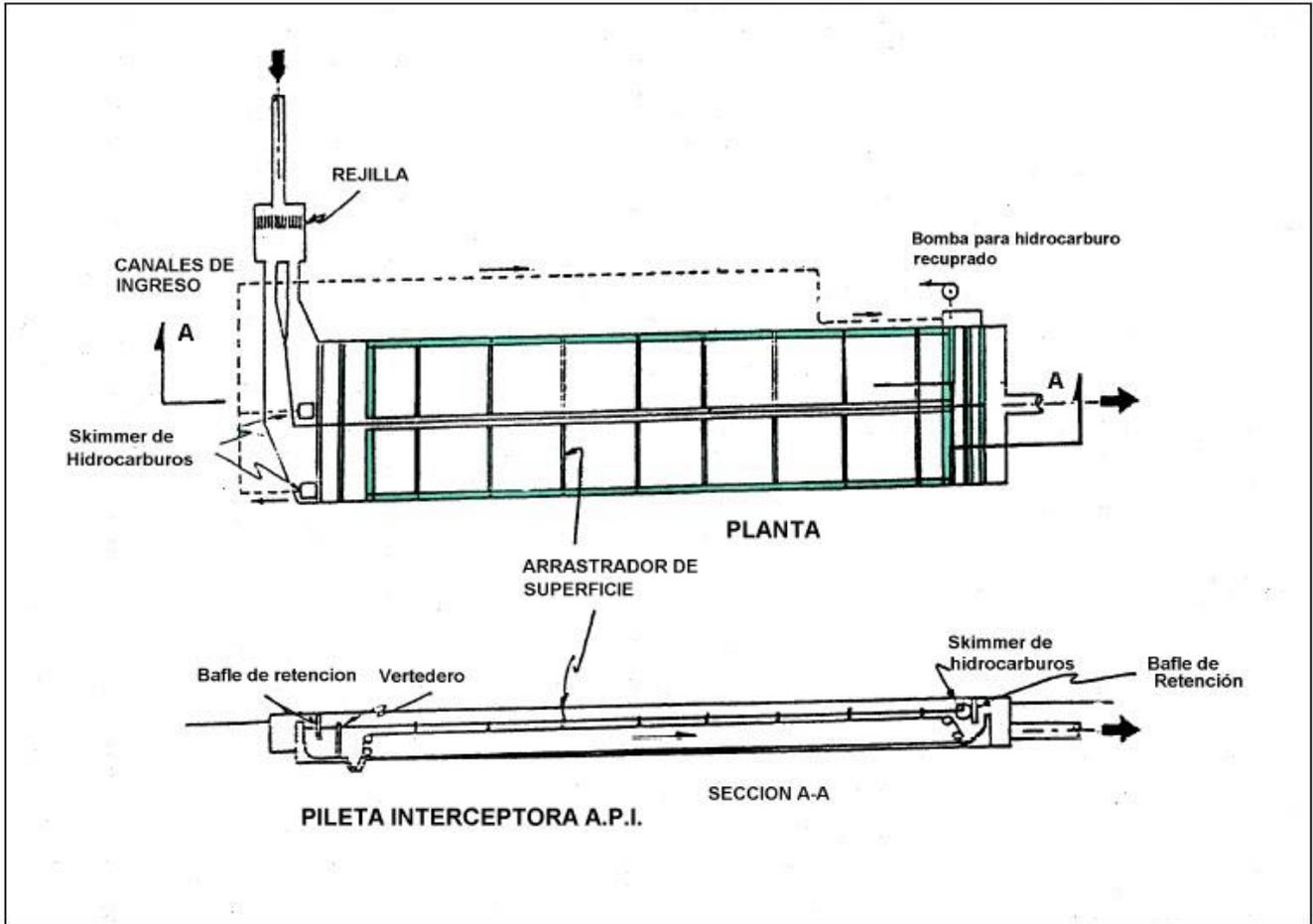
Solamente el aceite libre se puede renovar fácilmente; el aceite emulsionado debe ser convertido a aceite libre.

El aceite efluente y la concentración de grasa de un separador API puede fluctuar entre 20 y 100 mg/L.

La flotación puede resultar en aceite efluente y nivel de grasa tan bajo como 5 a 20 mg/l

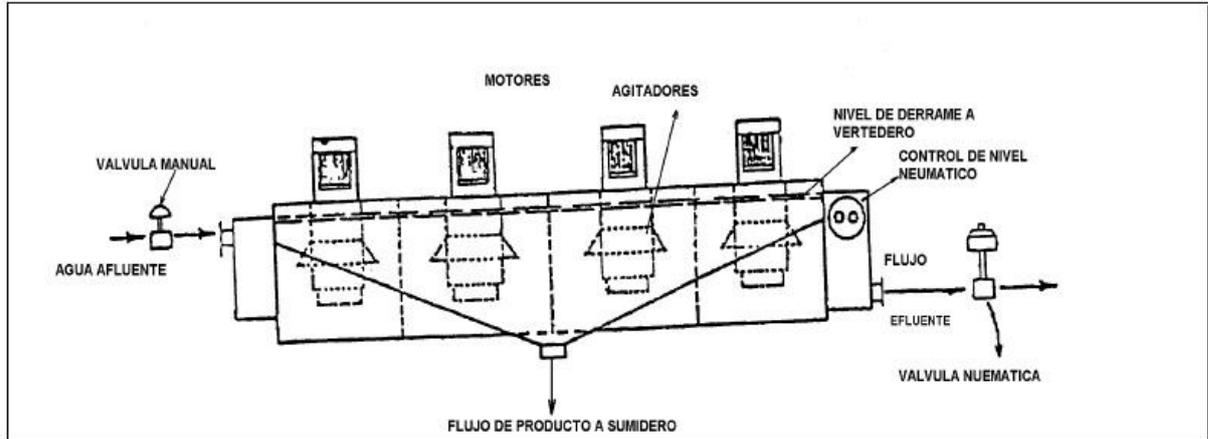
La flotación puede lograrse por aire inducido (IAP) o por aire dispuesto (DAF).

**Piletas separadoras de producto tipo API**



## Tecnologías de flotación

En la flotación por aire inducido (IAF) el gas es inducido por sí mismo mediante un mecanismo giratorio de dispersión.

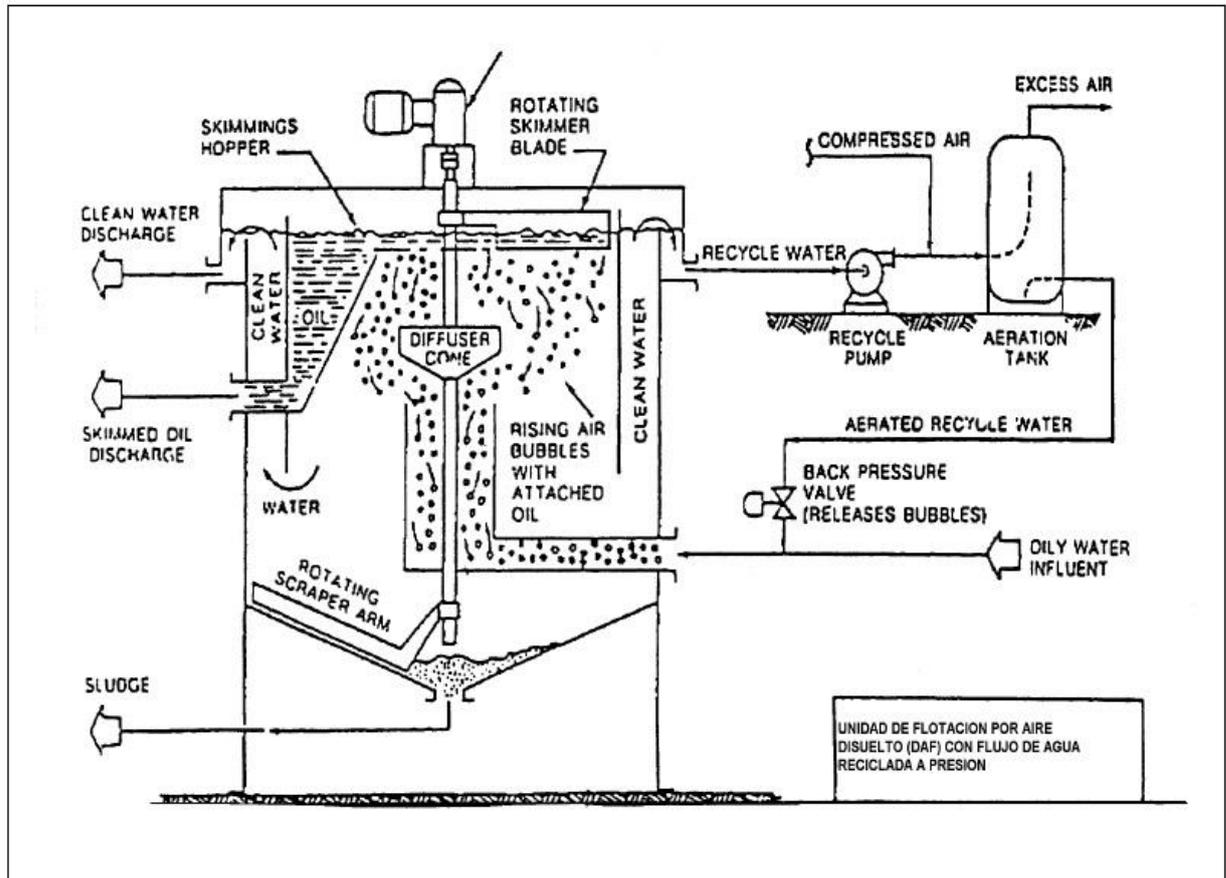


- Burbujas de 1000 micrones son generadas por IAF
- Mayores cantidades de escoria son generadoras por IAF que por DAF
- La tasa de cargas hidráulica ofrece una ventaja significativa al IAF (10- 15 GPM/pie<sup>2</sup>)
- El tiempo de detención en el IAF es de sólo 4 minutos
- IAF es menos costoso que el DAF

La flotación por aire disuelto se obtiene mediante la adición de aire presurizado al agua de desecho en forma de burbujas finas. Las burbujas se levantan y se adhieren a los materiales oleosos, reduciendo su gravedad específica y aumentando, por lo tanto, la flotación:

- Tamaño óptimo de burbuja es 50-100 micrones
- La carga hidráulica es de 1,5-3,5 GMP/pies de cuad.
- El tiempo de detención es típicamente de 12 a 13 minutos
- La presión de operación fluctúa entre 40 y 60 psi
- Es muy efectiva en la renovación de materiales oleosos (10 mg/l de óleo)

## Esquema de un sistema de flotación de aire disuelto



### Floculación, coagulación

**Coagulación:** La coagulación es la desestabilización de los coloides por la acción de reactivos químicos. El estado coloidal se caracteriza por su alta superficie específica, de forma que las moléculas del coloide se unen con moléculas del disolvente y se impide su agregación. Los coloides hidrófobos se estabilizan mediante la formación de capas de iones. El procedimiento más empleado para desestabilizar los coloides es la utilización de reactivos químicos. Los factores que afectan al proceso de coagulación son el pH, el contenido en sales y su tipo, la alcalinidad, la naturaleza del coloide, la temperatura y el grado de agitación.

Los coagulantes que suelen emplearse en el tratamiento de agua son:

- Los basados en el aluminio, como el sulfato de aluminio, los policloruros de aluminio y el aluminato sódico.
- Los basados en el hierro, como los sulfatos férrico y ferroso y el cloruro férrico.
- Los coagulantes orgánicos de tipo polielectrolito.
- Mezclas y formulaciones de las anteriores, específicas para cada caso.

**Floculación:** Una vez desestabilizadas las partículas comienza la fase de agregación al entrar en contacto unas con otras. Existen varios mecanismos:

- Difusión browniana: el propio movimiento térmico de las partículas (floculación pericínética). Para partículas menores de una micra (al comienzo del proceso)

- Efecto mecánico. El movimiento del fluido y el movimiento de caída propio de las partículas favorecen las colisiones (floculación ortocinética)

### **Normalización**

La normalización contribuye a la minimización y control de fluctuaciones en características de agua de desecho.

El objetivo de la normalización:

- Minimizar las necesidades de químicos (por neutralización)
- Minimizar los aumentos de flujo
- Minimizar la carga de choque del tratamiento biológico
- Minimizar la alta concentración de materias tóxicas en el tratamiento biológico

La normalización se logra en un estanque, mezclando (por aireación mecánica o aire difuso) el agua residual para asegurar su homogeneidad y prevenir que sólidos que pueden asentarse se depositen en el estanque.

### **Sedimentación primaria**

La sedimentación primaria es diseñada para remover sólidos que pueden asentarse del proceso físico-químico (ej. neutralización).

- La remoción de sólidos se logra en el clarificador primario, que es de forma circular o rectangular
- Las tasas de carga típica fluctúan entre 600 y 1000 por día por pie cuadrado
- El tanque de sedimentación está diseñado para ayudar al asentamiento de sólidos
- El agua se introduce en el pozo de alimentación, reduciendo así la energía entrante en la corriente del agua residual
- El flujo es dirigido al fondo del tanque para ayudar el asentamiento
- En el centro del tanque se coloca un mecanismo de sumidero y su recolección para recoger los sólidos establecidos y periódicamente removerlos del tanque
- El agua residual se desborda al otro lado del tanque de sedimentación hacia las aguas receptoras o para recibir tratamiento secundario

## **5. Tratamiento secundario**

El proceso de tratamiento secundario es diseñado principalmente para la renovación de sólidos orgánicos disueltos (DBO carbón) mediante oxidación biológica.

Hay muchas variaciones en el proceso, incluyendo el método de airear el agua residual.

### **PROCESOS**

Estanque de oxidación  
Lagunas aireadas  
Filtros de escurrimientos, Percoladores  
Barros activados  
Contactores biológicas de rotación  
Película fija  
Sistemas de lecho fluidificado

### **MÉTODOS DE AIREACIÓN**

Aireación difusa  
Aireación mecánica  
Aireación de membrana  
Aireación sumergida

## A. Barros activados

El proceso más ampliamente usado en la industria petrolera es de barros activados.

Este proceso incluye una cámara de decantación secundaria (clarificador).

El proceso de tratamiento secundario ha sido diseñado principalmente para la remoción de sólidos orgánicos disueltos (DBO de carbonos) por oxidación biológica.

El sistema básico consta de un número de componentes interrelacionados, tanque reactor, fuente de oxígeno, formas de mezclados, tanque decantador, forma de recolección de sólidos y recirculación al tanque reactor, y formas de eliminar el exceso de lodos.

La eficiencia total de remoción de la DBO de los carbonosos por procesos biológicos varía entre 70 y 90%.

Los resultados del proceso de lodos activados dependen de un número de factores, incluyendo:

- Carga total de sólidos orgánicos disueltos
- Requerimientos de oxígeno
- Requerimientos de compuestos nutritivos
- Temperatura y pH del agua residual
- Tóxicos presentes en el agua residual
- Proporción entre alimentación y biomasa
- Tiempo de retención de sólidos
- Concentración de biomasa

El proceso de barros activados es una suspensión de microorganismos en agua residual, que emplea reacciones metabólicas de los microorganismos para remover sustancias jabonosas que ejercen una demanda de oxígeno.

El criterio básico toma en consideración lo siguiente:

- Se requiere eficiencia en la remoción orgánica
- Se requiere nutrientes de nitrógeno (N) y fósforo (P)
- Oxígeno requerido para la oxidación orgánica
- Eficiencia de la transferencia de oxígeno
- Producción de lodos, reciclaje de lodos, y concentración de microorganismos en el tanque de aireación

En base al criterio anterior, se computan el volumen del tanque de la aireación, área del tanque, los caballos de fuerzas necesarios para la transferencia del oxígeno y la cantidad de N y P que debe agregarse.

El proceso de barros activados puede, en la mayoría de los casos, cumplir con los requisitos regulatorios para sólidos suspendidos en efluentes de 30 mg/l DBO.



## B. Biodiscos – Filtros percoladores

Después de que el agua haya sufrido los tratamientos primarios, se aplica un tratamiento secundario, mediante un proceso de oxidación, encaminado a estabilizar el efluente.

La depuración biológica aerobia de las aguas residuales consiste, en principio, en hacer que las bacterias, que se agrupan en películas o flóculos ya que retienen bien físico o fisico-químicamente la materia orgánica en disolución, se desarrollen y multipliquen, para posteriormente separar, por sedimentación, los fangos producidos.

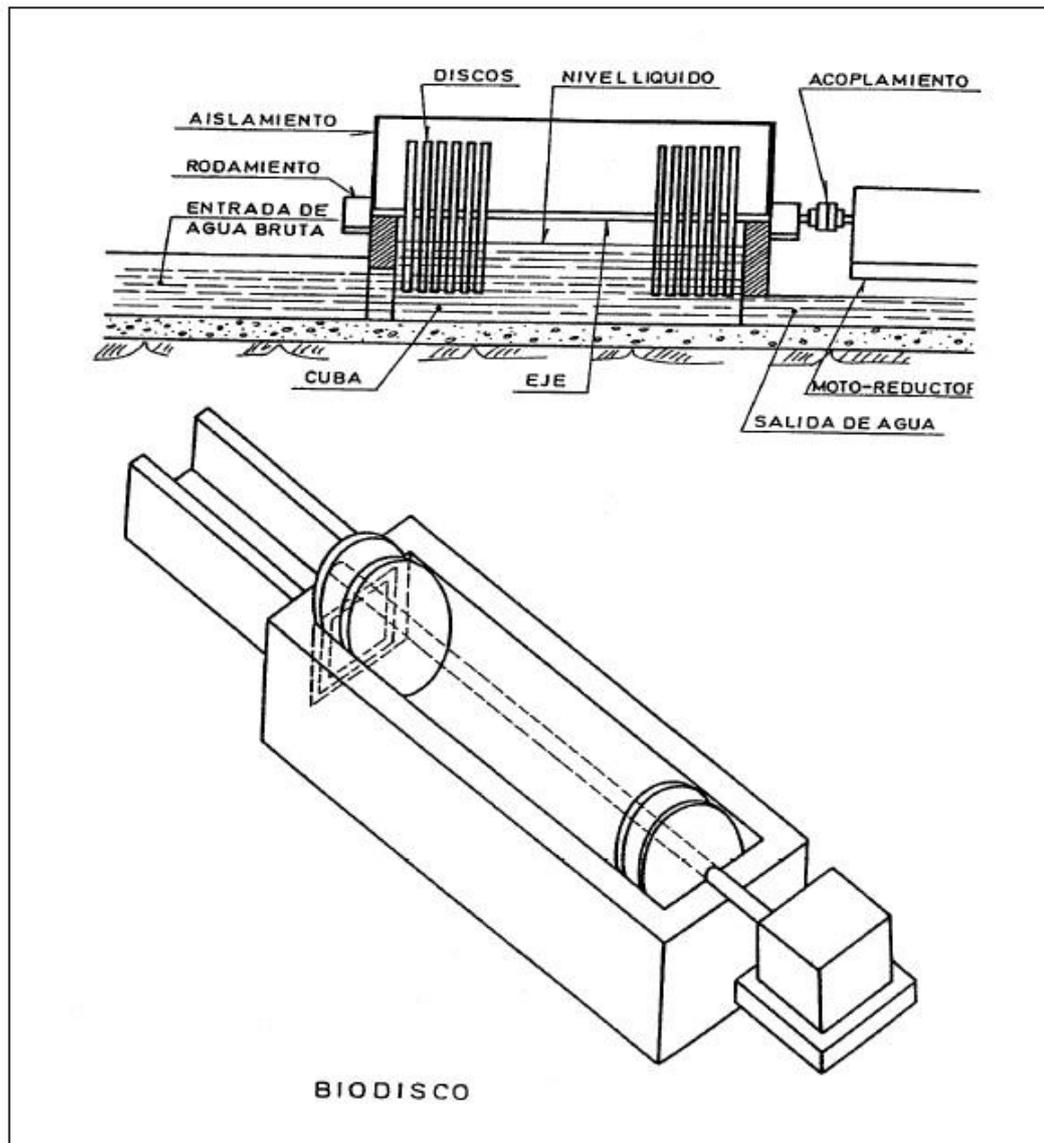
Dos sistemas que se pueden encuadrar en el grupo de los denominados «blandos» son los biodiscos y el filtro percolador o lecho bacteriano. El principio de funcionamiento, en ambos casos, es poner el agua en contacto con un material inerte o un soporte rígido, de gran superficie específica, donde se adhieran los microorganismos depuradores.

### Biodiscos

También llamados contactores biológicos rotativos (CBR). Suelen ser discos de material plástico o metálico, parcialmente sumergidos 40% en el agua a tratar y que giran a baja velocidad.

Sobre los discos se forma una película que utiliza el contenido orgánico disuelto en el agua como alimento y el aire como portador de oxígeno para la alimentación de las bacterias. Según crece la película, llega un momento que por su propio peso y por el efecto de la rotación, cae y pasa a estar en suspensión en el agua, con lo que se puede separar por decantación, u otro procedimiento físico.

Aguas abajo de los CBR las fases de tratamiento son las mismas que en un proceso convencional, teniendo en cuenta que no es necesario mantener una recirculación de fangos y como consecuencia las dimensiones del decantador secundario serán menores.



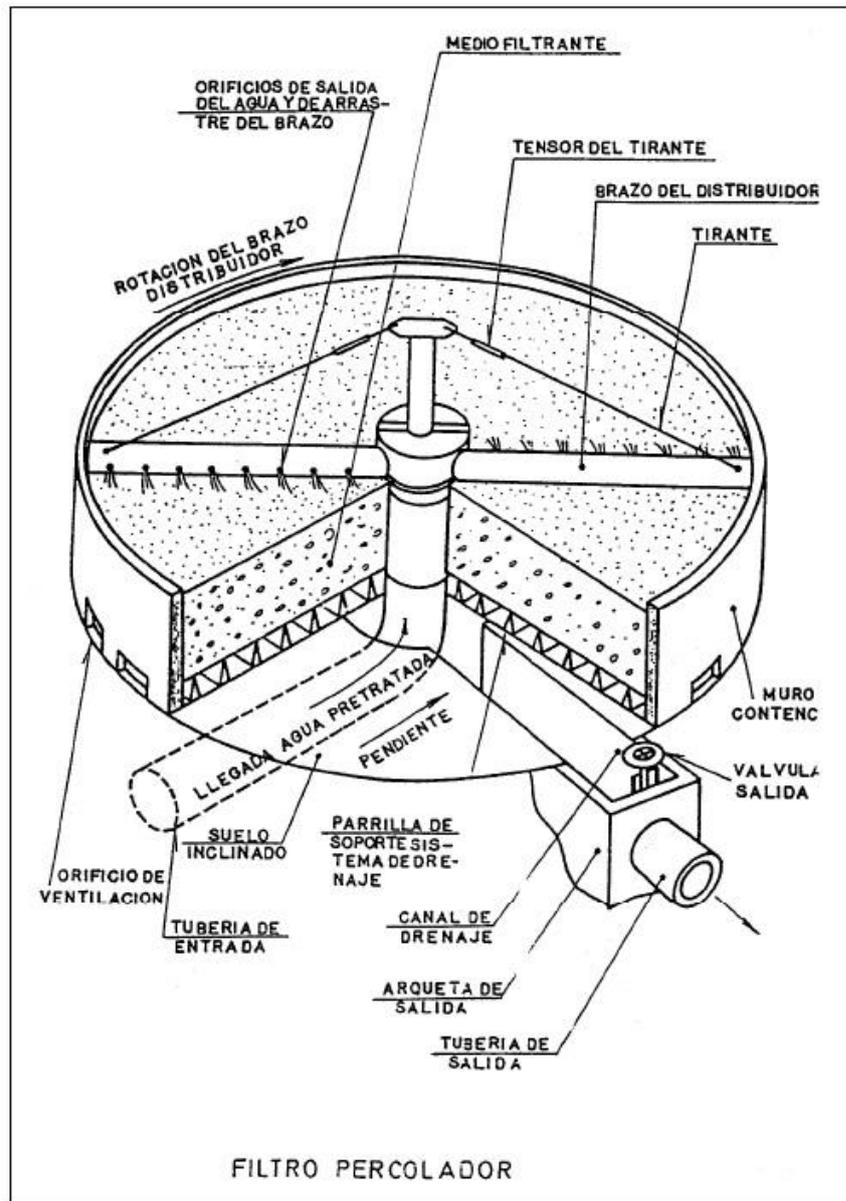
### Filtros percoladores

Un filtro percolador, consiste en un tanque, normalmente cilíndrico, relleno de material inerte sobre el que se rocía el agua a tratar.

Según el material que se utilice como relleno pueden ser tradicionales, en cuyo caso el material de relleno es puzolana, coque metalúrgico o piedras silíceas trituradas, o los más modernos con relleno de material plástico.

En todo caso el principio de funcionamiento es el mismo. Normalmente se efectúa una ventilación por tiro natural que a veces es forzada. El objeto de la misma es el aporte del oxígeno necesario para mantener la microflora en un medio aerobio.

Sobre el material inerte se forma una película bacteriana o zooglea, que según su espesor puede desarrollar bajo la capa aerobia una capa anaerobia.



## 6. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario normalmente se aplica a corrientes de agua residuales que requieren el más alto grado de remoción de sólidos contaminantes junto con los nutrientes:

- Un tratamiento terciario exitoso debe proveer remoción de sólidos de hasta un 99%, de remoción de la carga de nutrientes de hasta un 90%.
- El proceso típico de tratamiento terciario incluye una filtración por medios granulados y de adsorción de carbón activado

### A. Adsorción con carbón activado

Las sustancias químicas orgánicas que no son rápidamente biodegradadas, pueden ser removidas por tratamiento en corrientes individuales o bien tratamiento de los efluentes de la biodegradación, utilizando **Carbón Activado Granular (CAG, GAC en inglés)**.

Como una alternativa, el proceso de tratamiento biológico con barros activados puede ser mejorado por la adición de carbón activado en polvo (CAP, PAC en inglés) al equipo de Aireación.

El carbón activado remueve las sustancias orgánicas por **adsorción** en su superficie micro porosa. Los tamaños de los poros, controlados por el fabricante, determinan la capacidad y tasa de adsorción.

La mayoría de las sustancias no degradables pueden ser adsorbidas; sin embargo las moléculas muy grandes tales como los polímeros pueden ser muy grandes para caber en los poros. La aplicación más típica es la eliminación de los compuestos productores de color, pesticidas y sustancias orgánicas halogenadas.

El carbón utilizado, en general es recuperado por regeneración al oxidarlo en forma controlada en un horno. Ahí es donde las sustancias orgánicas son actualmente destruidas. Sin embargo en cada ciclo de regeneración parte del carbón se quema y además la superficie efectiva se reduce. Entonces la capacidad efectiva (por libra) de adsorción va declinando.

La filtración por medios granulados se logra pasando el agua residual por un lecho de material granulado a una velocidad de flujo controlada, con o sin agregar químicos acondicionadores.

La adsorción de carbón activado se usa para pulir el efluente para la remoción de organismos biodegradables y no degradables residuales.

El mecanismo de adsorción es por adherencia de las moléculas de la solución a una superficie sólida debido a fuerzas atrayentes intermoleculares.

Los parámetros básicos de diseño se desarrollan mediante una serie de pruebas de lotes de laboratorio e isotermas de adsorción.

## **7. Manejo de sólidos**

### **A. Espesamiento y desaguado de barros**

La acumulación de sólidos en los barros se produce en la sedimentación primaria, la clarificación secundaria, y varios pretratamientos y tratamientos en planta.

Estos barros deben ser espesados y desaguados antes de su disposición final (landfill, incinerado etc.). Ciertos barros pueden también ser digestados anaeróbicamente, calentados y oxidados, para reducir su masa o para facilitar su disposición final.

Los cambios específicos dependen de factores como cuánta agua puede ser removida mecánicamente, y la humedad que el barro desaguado puede soportar en la combustión.

En general las lechadas gelatinosas tales como los barros activados residuales, tienen más bajos contenidos de sólidos que los barros primarios y los barros químicos inorgánicos.

Los barros son espesados por gravedad, o por flotación con aire disuelto. Un espesador por gravedad es un tanque con un rotador inclinado que rompe las partículas y facilita su decantación.

La centrifugación con una aceleración igual a la gravedad, o más, puede espesar y desaguar los barros.

La Filtración captura mayor cantidad de sólidos que la centrifugación, y generalmente produce una torta seca.

En la Filtración al vacío, un tambor cubierto con tela porosa o malla de acero, levanta la lechada y la rota a través de un tanque. El vacío impulsa el agua a través del medio filtrante

En un Filtro prensa de filtración en batch, el rendimiento es de 20 – 45 % de sólidos.

Los barros que van a disposición final en tierra o en una laguna, pueden ser hechos relativamente inertes por digestión aeróbica o anaerobia. La digestión aeróbica es preferible; en ella 10 a 20 días de aireación removerán el 90 % de los organismos degradables en los barros.

El espesamiento, es generalmente el primer paso en la mayoría de los sistemas de manejo de sólidos.

El espesamiento se logra usando:

- Espesador de gravedad
- Flotación de aire disuelto
- Centrifugación

La deshidratación de lodos es el próximo paso en el manejo de sólidos. Se usan varias tecnologías para la deshidratación:

- Filtración de vacío
- Filtración de correa
- Filtración de prensa de filtrar
- Centrifugación
- Lechos de secamiento

## **B. Disposición final de los barros**

Los barros húmedos pueden tener una disposición final por enlagueado, por dispersión o por rociado, por encima de la tierra (landfarming), pero si ellos contienen metales pesados u otros contaminantes críticos, deben ser considerados como residuos peligrosos y requieren una disposición final especial. Los barros pueden también ser incinerados; la cantidad de combustible necesaria para esto depende de su secado y el contenido de energía.

Los barros pueden estar a menudo enlagueados, pero algunas sustancias orgánicas deberían ser primeramente biotratadas aeróbica y anaeróbicamente para eliminar el olor. Una laguna puede ser operada como un lecho de secado, con periódicas remociones de sólidos, o como una laguna permanente, en cuyo caso el terreno es cerrado cuando la laguna está llena de sólidos.

Los barros tratados biológicamente, tienen cierto valor fertilizante, y una vez limpios pueden ser dispuestos en tierra. Los residuos de barros activados, pueden ser dispuestos en una laguna llena de algas, en la cual la digestión anaerobia ocurrirá en el fondo y la digestión aeróbica en la superficie.

La incineración requiere secado, para eliminar la humedad, y la combustión de algún combustible y llevar al barro y sus volátiles a su punto de ignición. Después de esto, el barro puede ser quemado por sí mismo, si es que tiene la suficiente energía.

En un incinerador de chimeneas múltiples la humedad es llevada hacia el tope por los gases exhaustos y entonces son lavados. En el centro de la chimenea, los gases volátiles y los sólidos son quemados.

La ubicación definitiva del lodo deshidratado, incluye las siguientes opciones:

- Abandono en la tierra
- Conversión en abono
- Secado
- Procesos a altas temperaturas