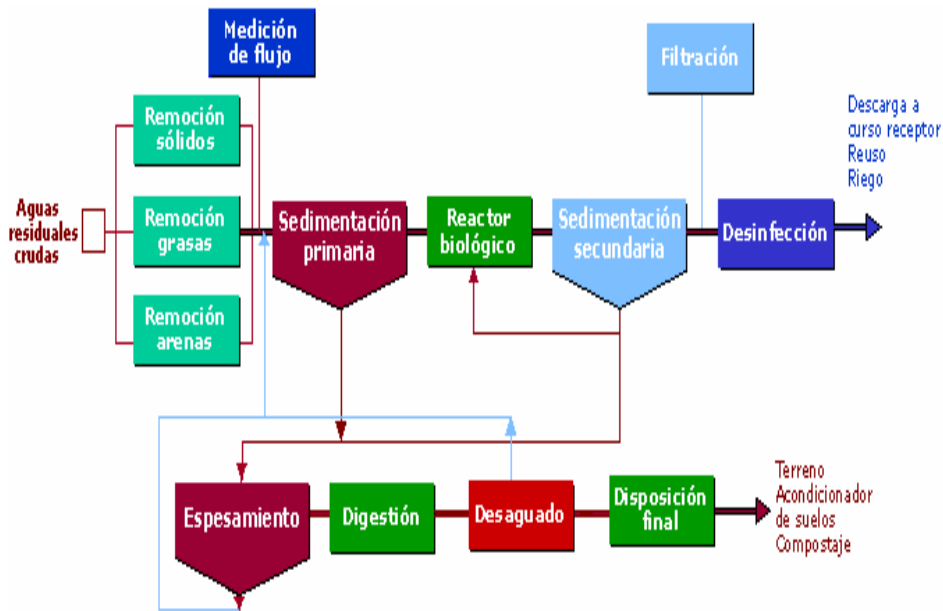


# TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES



Apunte descargado del Portal del Ingeniero Ambiental.

## TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### Contaminación del cuerpo receptor.

El crecimiento de las ciudades y las fábricas, ha contribuido a la magnitud y complejidad del problema de la contaminación ambiental, generando situaciones de costosa corrección, poniendo en peligro la salud pública, encareciendo el proceso de potabilización y degradando el medio.

Los problemas básicos que genera la contaminación son tres:

- Problemas higiénicos.** Transmisión de enfermedades (aguas de consumo o de recreación o irrigación de alimentos o toxicidad).
- Problemas económicos.** Mayor consumo de productos químicos para el tratamiento de las aguas de consumo o industrial, menor productividad en agua para la agricultura, menor valor de propiedades costeras, afectación de recursos pesqueros y deterioro de estructuras y embarcaciones.
- Problemas estéticos.** Alteración del aspecto naturalmente agradable que debe presentar el cuerpo superficial, e imposibilidad de usarlo con fines recreativos.

Contaminantes	Razón de la Importancia
Sólidos	Los sólidos sedimentables pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de Condiciones anaeróbicas Cuando se Vierte agua residual sin tratar al entorno acuático. O en el caso de Que sean sólidos suspendidos pueden causar turbiedad e incluso impedir el ingreso de los rayos solares a los cuerpos de agua.-
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasa y aceites... Si los efluentes se descargan al entorno sin tratar, puede llevar al Agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y desarrollo de condiciones sépticas.-
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como del fósforo, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer al crecimiento desmedido de una vida acuática no deseada. Cuando se Vierten al terreno en cantidades excesivas también puede provocar la contaminación del agua subterránea.-
Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente añadidos al agua residual como excedente de ciertas actividades industriales, estos metales presentan distintos niveles de toxicidad.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensioactivos, los fenoles y pesticidas agrícolas.-
Sustancias inorgánicas disueltas	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio, magnesio, potasio, sulfatos y otros pueden estar presentes en el agua como desecho de algunas actividades estos compuestos pueden ser tóxicos o darle ciertas características al agua no siempre deseada por lo que en muchas ocasiones deben ser removidos.-
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual. Proviene fundamentalmente de las redes cloacales y de alcantarillado.-

**Valores limites de vuelco en la Ciudad de Buenos Aires**

**Anexo B, Decreto 999/92**

Parámetros		VALORES LIMITES
pH		5, 5- 10
Sustancias Solubles en éter etílico	mg / l	100
Sulfuros	mg / l	1
Sólidos sedimentables en 10 minutos	ml / l	0, 5
Temperatura	° C	45
Demanda Biológica de oxígeno	mg / l	200
Oxígeno consumido al permanganato	mg / l	80
Cianuro	mg / l	0, 1
Hidrocarburos	mg / l	50
Cromo	mg / l	0,2
Detergentes SRAO	mg / l	5
Cadmio	mg / l	0, 1
Plomo	mg / l	0, 5
Mercurio	mg / l	0, 005
Arsénico	mg / l	0, 5
Fenoles	mg / l	0, 5
Demanda de cloro	mg / l	-

**Líquido cloacal**

Parámetro	Concentración en líquido Cloacal		
	Alta	Media	Baja
Sólidos Totales	1200 mg/l	720 mg/l	350 mg/l
DBO	450	250	150
DQO	1000	500	300
Nitrógeno Total	85	40	20
Nitrógeno Orgánico	35	15	8
Nitrógeno Amoniacal	50	25	12
Fósforo Total	15	8	4
Fósforo Orgánico	5	3	1
Fósforo inorgánico	10	5	3
Grasas	150	100	50

**Condiciones para la vida acuática**

OD:	> 5 mg/l y nunca menor 3 mg/l
DBO:	< 5 mg/l
H <sub>2</sub> S:	nulo
N amoniacal:	< 1 mg/l
Compuestos fenólicos:	< 0,02 mg/l
pH:	6-8

### Plantas de tratamiento

Cuando la capacidad de autodepuración del cuerpo se sobrepasa, debe purificarse el líquido de descarga. La intensidad del tratamiento dependerá de las características del efluente y del cuerpo receptor.

#### **Tipos de tratamientos:**

**1) Tratamiento primario** Aquellos que aprovechan las propiedades físicas de los componentes que se desean separar y aquellos que aprovechan las propiedades químicas.

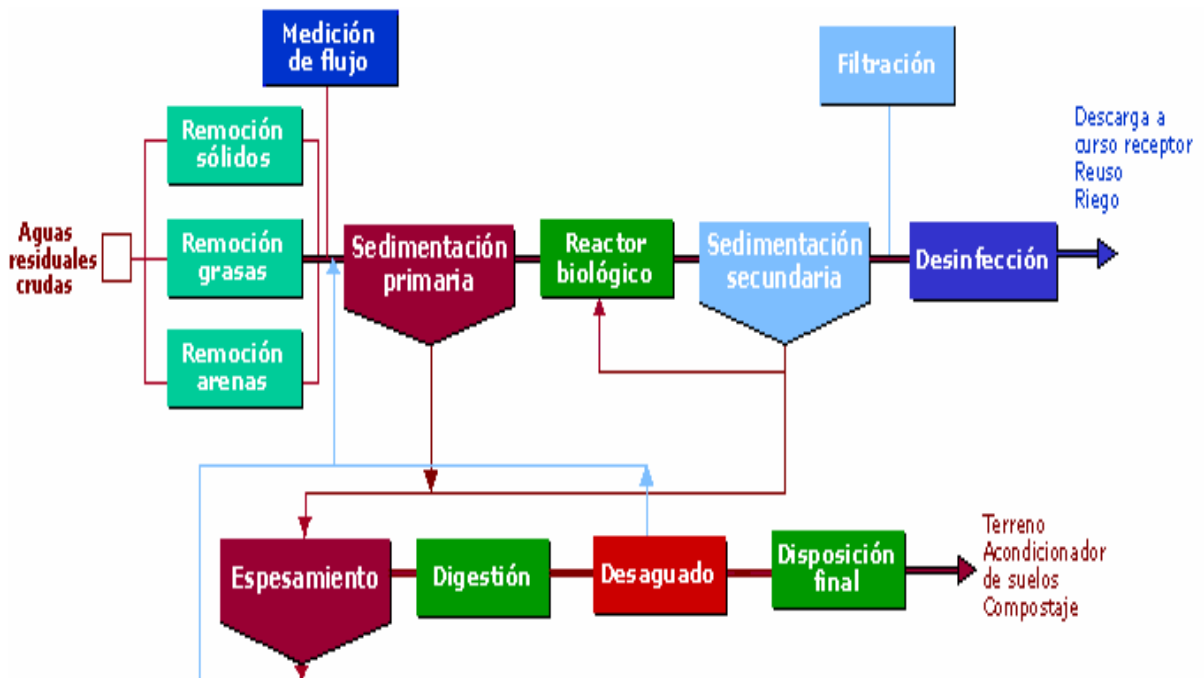
- a) Mecánico
  - Reja (gruesa, Mediana, fina)
  - Trituradores
- b) Hidráulico
  - Desarenador
  - Desengrasador
  - Cámaras sépticas
  - Sedimentadores
- c) Químico
  - Floculación-coagulación

**2) Tratamiento secundario**, Aquellos que aprovechan las propiedades biológicas

- a) Cuerpos filtrantes
  - Filtros de arena
  - Lechos percoladores (comunes o recirculados)
- b) Barros activados
  - Por inyección de aire
  - Aereación mecánica, prolongada, aereación extendida
- c) Lagunas

**3) Terciario**

Son tratamientos que sirven para el pulido del agua. Desinfección, intercambio iónico, adsorción con carbón activado, etc



**Esquema de una planta de tratamiento convencional**

**Rejas:**

Separan los sólidos gruesos del cloacal. Son barrotes paralelos, en general inclinados, colocados en un canal aguas arriba de las instalaciones de bombeo o desarenadores.

Siempre se colocan rejas gruesas antes de la estación elevadora, y rejas de menor separación antes de otras instalaciones. Se utilizan bombas/estaciones elevadoras porque los conductos por gravedad se hundan cada vez más en el terreno y los caños pueden llegar a profundidades considerables. Las rejas medianas y finas se instalan a mayor ángulo que las gruesas.

Según la separación de barras:

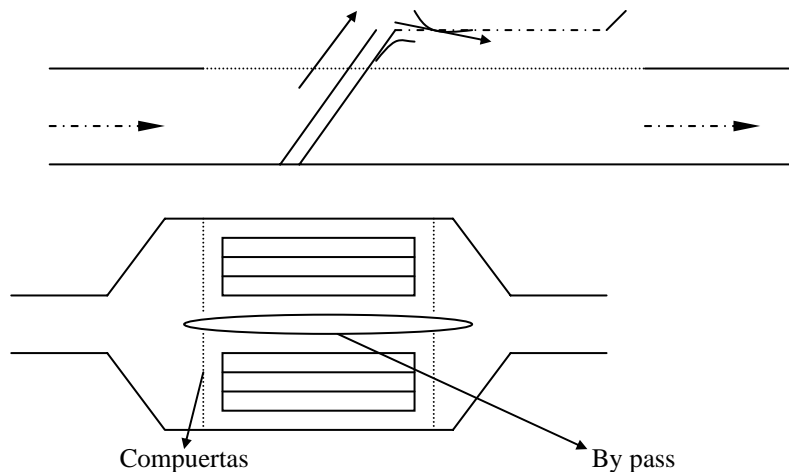
- **Gruesas:** con separación de 5 a 10 cm
- **Medianas:** de 2.5 a 5 cm
- **Finas:** de 1 a 2.5 cm

Según su movilidad:

- **Móviles:** para pequeñas plantas. Son un par de jaulas que suben o bajan, es decir, si sube una para limpiarla baja la otra.
- **Fijas:** que no se mueven.

Según su forma de limpieza:

- **Manuales:** las gruesas, en general, lo son. Se limpia con un rastrillo de igual separación que las barras, se levanta el material retenido hasta una chapa perforada donde se escurre el agua. La inclinación de la reja es de entre 45-60°.



- **De limpieza mecánica:** Las rejas finas se instalan aguas abajo, y son, en general de limpieza mecánica. La misma se hace con un rastrillo mecánico. Es una cadena sin fin con un rastrillo movido por un motor. Se descarga el residuo a una tolva. Esta limpieza tiende a reducir los cortos de operación.

**El comando de la limpieza se hace sobre la base de tres formas:**

- 1) **A tiempo fijo:** arranca cada tiempo t, siempre fijado.
- 2) **En función de la pérdida de carga:** es la forma más común, cuando el desnivel de aguas arriba y abajo difiere por mucho, se acciona el motor.
- 3) **En forma manual:** a voluntad del operador.

También las rejas medianas y finas deberán contar con un canal de by pass, y siempre se instalan 2 rejas. La velocidad del líquido aguas arriba no debe ser menor a 0.6 m/s, para caudal mínimo, para evitar sedimentación de materia orgánica del líquido cloacal en el desarenador o decantador. La velocidad de pasaje a través de la reja es un valor importante por su eficiencia. La eficiencia es mayor a menor velocidad del agua. La velocidad de pasaje, entonces, debe ser de 0.6 a 0.9 m/s. La pérdida de carga variará de un mínimo, reja limpia, a un máximo, reja sucia.

### **Desarenador**

Elimina del líquido cloacal todos los elementos de carácter granulado que sedimente más rápido que la sustancia orgánica. Arena, gravilla, materiales inorgánicos. Retienen estos materiales inertes mejorando el aprovechamiento del volumen de los dispersores, ya que evita que estas partículas queden en el sedimentador primario o digestor. Evita la sedimentación de arena en las conducciones. En todos los elementos mecanizados se evita el desgaste por la acción abrasiva de la arena.

#### **Ubicación:**

- Siempre después de una reja gruesa.
- Antes de las rejillas finas con limpieza mecánica o trituradores.
- Antes de los equipos de elevación si la profundidad a la que deberá instalarse no encarece y complica la obra.

Debe mantener en suspensión la materia orgánica, no debe permitir su sedimentación.

Las arenas son las comunes, densidad =  $2.65 \text{ g/cm}^3$  igual que para la potabilización, se sacan las partículas mayores a 0.2mm.

El valor de la velocidad horizontal debe estar cerca de 0.3 m/s, para retener las arenas sin que sedimente la materia orgánica.

Los sólidos retenidos son partículas discretas y se aplica la teoría correspondiente a sedimentación de partículas discretas.

#### **Sedimentación:**

Hay dos tipos de sedimentadores:

**Primarios:** Partículas sedimentables en un determinado tiempo. Habitualmente 2 horas. Se aplican las fórmulas vistas para aguas (Hazen, Newton, Stokes)

**Secundarios:** Partículas aglomerables. No se pueden aplicar las fórmulas vistas. Para su diseño se recurre a valores experimentales, de planta piloto, o de unidades ya construidas.

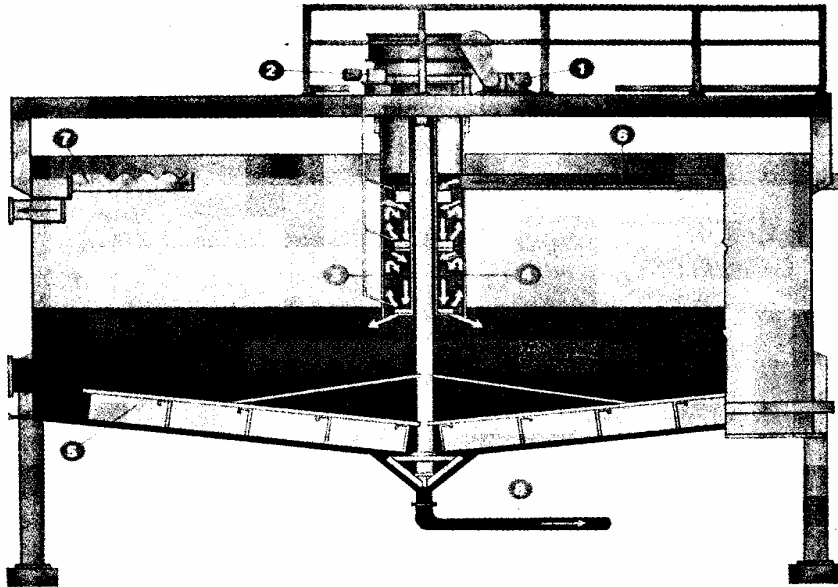
Factores que influyen en el diseño de tanques de sedimentación.

**Variaciones de caudales:** Los caudales varían en el día y durante el año. Esta variación modifica la carga superficial y el tiempo de retención o permanencia.

**Temperatura:** Influye sobre el peso específico y la viscosidad. Sedimenta mejor a mayor temperatura.

**Concentración:** Para los líquidos cloacales domésticos se ve que a mayor concentración aumenta la eficiencia. Hay curvas que dan la eficiencia en sólidos suspendidos y DBO en función de la concentración. A mayor concentración mayor la probabilidad de agrupamiento / floculación. La forma más corriente es la circular. Su diámetro debe ser menor que 45 metros, en general oscila entre

15 y 30 m.



- |                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Accionamiento Rastras. | 5. Rastras.                 |
| 2. Accionamiento Turbina. | 6. Tubería de alimentación. |
| 3. Inyección polímero.    | 7. Canal de reboso.         |
| 4. Cámara de mezcla.      | 8. Tubería de descarga.     |

### Pozos Imhoff

Unidad compuesta por dos cámaras donde se producen simultáneamente la sedimentación de los sólidos suspendidos y la digestión anaeróbica de los lodos digeridos. Debe tener un capacidad de almacenamiento para barros de 20-30 días. Sobre la parte superior debe tener una zona libre sobre la superficie donde se alojan las espumas o crostas y para que escapen los gases de digestión, metano y CO<sub>2</sub>.

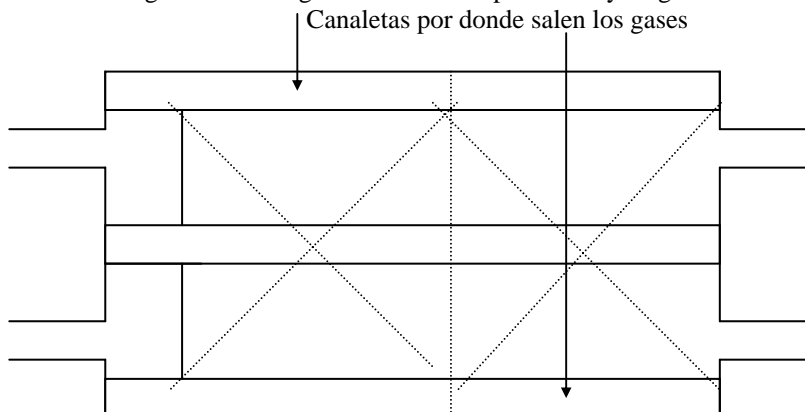
Es como un digestor abierto sin calefacción y se diferencia de la cámara séptica en que los dos procesos de sedimentación y digestión están separados. Esta separación mejora la eficiencia y la calidad del efluente ya que no es afectada la sedimentación por los gases de la digestión.

#### **Ventajas:**

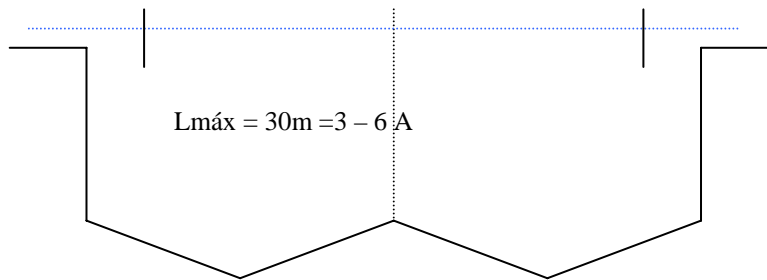
- Reemplazan al sedimentador primario y digestores convencionales que generalmente ocasionan dificultades en la operación de la planta.
- Pueden constituir el tratamiento primario complementario de los filtros de lechos percoladores y si el efluente lo permite, ser una única unidad de tratamiento.
- Son de operación sencilla pues carecen de elementos electromecánicos.

#### **Desventajas:**

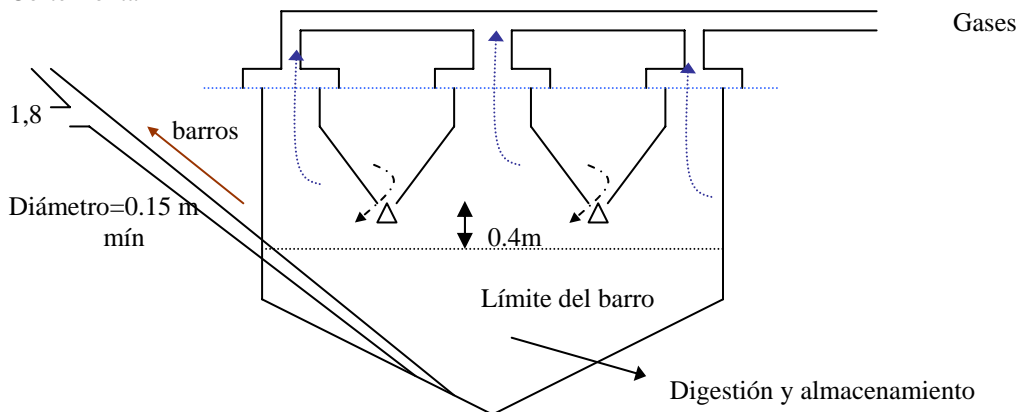
- No se pueden usar en climas fríos con temperaturas menores a 10 °C. Temperatura a la cual el tiempo de digestión es muy grande y no es económico ni técnicamente factible.
- Por su gran altura exigen excavaciones profundas y de gran volumen.



Corte transversal



Corte frontal



- ▶ Barros
- .....▶ Gases de subida
- ▶ Sedimentación

El gas se aprovecha para producir energía dentro de la planta. La zona de sedimentación está constituida por un canal rectangular por donde escurre el líquido hasta su salida. Mientras circula el líquido se separa la faz sólida que sedimenta y pasa al sector de digestión a través de orificios en el fondo del canal.

El canal tiene dos sectores. El superior de sección rectangular y el inferior de sección triangular, en cuyo vértice se encuentran los orificios de salida de los sólidos sedimentados. En los tanques de grandes dimensiones, la entrada y salida del líquido en la zona de sedimentación se proyecta reversible mediante canales exteriores y compuertas.

## COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

### COAGULACIÓN

Cuando el agua a tratar contiene partículas muy finas ó en estado coloidal, el empleo de la sedimentación simple resulta antieconómico ó imposible. (permanencias mayores de 6 horas no son económicas). Como ejemplo podemos mencionar que una partícula de arcilla de diámetro 0.0001 m sedimenta con una velocidad de 0.000154 mm/seg y tardaría 2 años en sedimentar 1 m.

En estos casos para la eliminación de la turbiedad se recurre al agregado de un producto químico, dando lugar a un proceso que se llama coagulación-floculación por el cual las partículas coloidales se aglutinan en pequeños flocs, de mayor peso que puedan sedimentar con mayor facilidad. Este proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar con rapidez
- Remoción de color
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor

Los términos coagulación y floculación son frecuentemente usados como sinónimos, significando ambos el proceso de aglomeración de partículas. En realidad, ambos términos tienen distinto



significado. Se denomina coagulación al proceso de adicionar los productos químicos al agua (coagulantes) para reducir ó anular las fuerzas que tienden a mantener separadas las partículas en suspensión. En cambio, floculación es la aglomeración de las partículas por efecto de un movimiento lento del agua, de forma de formar partículas de mayor tamaño (flocs) que puedan sedimentar por gravedad.

En consecuencia estudiaremos ambos procesos en forma separada. Empezaremos por el primero, es decir la coagulación.

Como hemos visto las aguas superficiales al escurrir por el terreno disuelven sales.

Las partículas coloidales tienen un gran poder de absorción absorbiendo iones del medio circundante (Es una propiedad características de los coloides) dando como consecuencia partículas cargadas eléctricamente. Las partículas coloidales que producen la turbidez y color de las aguas superficiales están cargadas negativamente, pudiéndose representar dicha partícula con como una esfera con cargas negativas rodeadas por una capa constituida por iones positivos que se mueven solidariamente con la partícula, por la cual se la denomina capa fija y una capa difusa de iones positivos y negativos

La carga eléctrica de la partícula genera las siguientes diferencias de potencial entre las partículas y el seno del liquido.

Potencial de Nerst: Diferencia de potencial entre la pared de la partícula y el seno del liquido.

Potencial Zeta : Diferencia de potencial entre la superficie externa de la capa fija y el seno del liquido. El valor del potencial Z determina la magnitud de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas.

En consecuencia de acuerdo a lo que hemos descrito podemos decir que las fuerzas que actúan sobre un coloide :

- Fuerzas electrocinética o de repulsión: Las derivadas del potencial Zeta o de repulsión
- Fuerzas debidas a la atracción de las masa o Van der Waal.
- Fuerzas debidas a la energía cinética del movimiento Browniano

Las dos primeras son las mas importantes y de mayor valor. Las fuerzas de Van der. Waal producen la inestabilidad de la dispersión coloidal y las fuerzas electrocinéticas la estabilidad de la misma. La desestabilización de la dispersión coloidal por medio de la reducción del potencial Zeta tiene por finalidad que las fuerzas de repulsión sean menores que las fuerzas de atracción de las masa. Esto se logra mediante la adicción de partículas coloidales de signo opuesto proporcionadas por sustancias químicas llamadas coagulantes siendo los mas comunes (AlSO<sub>4</sub>) ( sulfato de aluminio), FeSO<sub>4</sub> (sulfato ferroso) FeCl<sub>3</sub> ( cloruro ferrico) y también por el agregado de poli electrólitos o ayudantes de coagulación. Estos últimos pueden ser naturales o sintéticos

El proceso de coagulación floculación se realizan en la planta de potabilización entre procesos separados :

Adición de los coagulantes

Dispersión de los coagulantes

Aglutinación o aglomeración de partículas

I) Los coagulantes metálicos sulfato de aluminio o sulfato ferroso deben aplicarse en solución. La solución puede prepararse en dos formas

a) Dosificando el polvo en forma continua en un tanque de hidratación desde donde la solución se lleva al punto de aplicación , se denomina dosificación en seco.

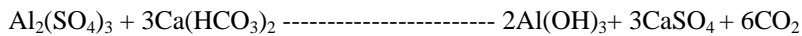
b)Preparando la solución previamente y dosificándola por gravedad o por bombeo en su punto de aplicación, lo que se suele llamar dosificación húmeda.

El sulfato de aluminio se obtiene haciendo reaccionar mineral de bauxita( o arcillas ricas en óxidos de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) con ácido sulfúrico).

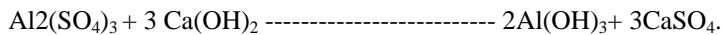


Las reacciones que se producen con el agregado del sulfato de aluminio son (reacciona con las sustancias alcalinas):

Reacción entre el sulfato de aluminio y el bicarbonato de calcio.



Reacción entre el sulfato de aluminio y la cal.



El principal componente de la reacción es el hidróxido de aluminio. El hidróxido de aluminio se disuelve, dando para valores de pH mayores de 7 aluminatos solubles  $\text{AlO}_3^{--}$  y para valores menores de 7  $\text{Al}^{+++}$ . El hidróxido de aluminio insoluble se produce cuando son iguales las concentraciones de iones negativos y positivos, neutralizándose. El valor del pH en ese momento se llama punto isoeléctrico. En el agua destilada es  $\text{pH} = 5,5$ .

El agua del Río de la Plata coagula mejor a pH próximo a 6.

Los hidróxidos de aluminio insolubles precipitan, formando una masa esponjosa, Floc de barrido que atrapa en su caída a los coloides o partículas suspendidas, las cuales se ven forzadas a decantar, incorporadas dentro del precipitado que desciende.

Esta forma de remoción de la turbiedad, llamada coagulación por barrido, es la que más frecuente se presenta en la planta, ya que en la práctica las dosis que se usan están por encima del límite de solubilidad de los hidróxidos de aluminio.

En general, la coagulación se efectúa fundamentalmente por los procesos de neutralización (reducción del potencial z) y por barrido.

Hemos visto que el coagulante reacciona con la alcalinidad del agua. Existen aguas que no poseen la alcalinidad necesaria, lo que trae aparejado la formación de un coágulo o floc pequeño que sedimenta con mucha dificultad. En general se requiere 1 mg/l de alcalinidad expresada como  $\text{CO}_3$ , por cada 2 mg/l de sulfato de aluminio con 17% de óxidos útiles ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). En estos casos se hace necesario el agregado de sustancias que eleven la alcalinidad del agua natural. El proceso recibe el nombre de prealcalinización cuando se realiza antes del coagulante. Las sustancias utilizadas para la alcalinización son: el carbonato de sodio  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  o hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Para la determinación de la dosis óptima de coagulante a utilizar en la planta de potabilización, se puede realizar 2 tipos de ensayos diferentes. El objetivo de estos ensayos es poder determinar la dosis que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales y la que hace que se forme un floc pesado y compacto que sedimente fácilmente.

**Electroforesis:** Consiste en determinar la carga de las partículas coloidales (potencial z). El aparato utilizado se llama zetámetro. Se determina en primer lugar el potencial z sobre el agua bruta, sin la adición de coagulantes. Luego se va midiendo con dosis crecientes hasta anular la diferencia de potencial lo que nos da la dosis de coagulante necesaria.

**Ensayo de coagulación-floculación:** Se realiza una temperatura próxima a la que tendrá el agua realmente durante el tratamiento en la planta. Se utiliza un aparato que permite agitar simultáneamente a una determinada velocidad el agua contenida en una serie de vasos. En cada vaso de un litro se pone el agua bruta a ensayar y una dosis de coagulante diferente. Primeramente se agita el agua a una velocidad de 100 r.p.m. durante 20 a 30 segundos y luego a 40 r.p.m. durante 20 minutos. Luego se deja decantar y se observa cual es el vaso que mejor resultado tiene, es decir, el que contenga el agua más clara.

II) Dispersión del coagulante:

Como hemos visto, existen básicamente dos tipos de coagulación, la de absorción-neutralización, en la cual los iones de  $\text{Al}^{+++}$  neutralizan las cargas de partículas (reducción de potencial z) y la de barrido, que se produce cuando hay precipitación de los hidróxidos de aluminio por sobresaturación de coagulante que atrapa e incorpora a los coloides en esta precipitación. La primera dura como máximo 1 segundo y la segunda se completa de 1 a 10 segundos.

Vemos que para estos tiempos resulta necesario dispersar el coagulante en la masa de agua en el menor tiempo posible, para lo cual es necesario efectuar una agitación violenta. Los dispersores se clasifican en dos grupos: de acción hidráulica y de acción mecánica.

Los de acción hidráulica pueden ser:

- a) canaleta parshall
- b) vertederos
- c) cámaras de pantalla o chicanas

### III) Aglomeración de partículas – Floculación

Una vez dispersados los coagulantes hay que producir una lenta agitación en el agua para permitir el crecimiento del floc. Este crecimiento es producido por el contacto entre partículas debido al gradiente de velocidad. Tres características esenciales definen la floculación.

- a) la forma de producir la agitación
- b) el gradiente de velocidad
- c) el tiempo de detención o permanencia “P”.
- 

Los objetivos que se persiguen con estas características son:

- 1º) Reunir los microflocos para formar partículas mayores con peso específico superior al agua
- 2º) Compactar el floc, disminuyendo su grado de hidratación para aumentar su peso y facilitar la sedimentación.

Tanto el gradiente de velocidad como la permanencia óptima varían según el tipo de agua y se deben hallar por experimentación.

La velocidad con que se unen las partículas para formar el floc está determinada por el número de contacto entre las mismas en la unidad de tiempo. Este número de contactos en un punto determinado del fluido en movimiento es directamente proporcional al gradiente de velocidad, a la concentración de partículas y al tamaño de las mismas. Por otra parte, según experiencias realizadas por Camp, la concentración del floc es inversamente proporcional al gradiente de velocidad y a la permanencia P, esto quiere decir que es posible variar el volumen del floc cambiando la energía que se le comunique a la masa líquida o la permanencia en el floculador. Al aumentar el gradiente de velocidad el floc se hace más pequeño pero a la vez más compacto, teniendo una mayor velocidad de sedimentación. Al contrario, el floc producido con baja velocidad de agitación o gradiente es grande y esponjoso y sedimenta con dificultad.

### Lechos Percoladores

Los lechos percoladores o filtros biológicos tienen la función de degradar biológicamente contaminantes presentes en el líquido cloacal, tanto en solución como en suspensión. Del total de la DBO que tiene el líquido cloacal, en la sedimentación, apenas con los sólidos sedimentables a dos horas, separamos del 30 al 50 % de ésta carga, inclusive se puede llegar a un 60 %. El resto no es posible separarlo porque está en solución o en estado coloidal. La materia orgánica se degrada mediante degradación aeróbica y esa materia suspendida se transforma en sedimentable, separándose en el sedimentador secundario.

Consta básicamente de un manto soporte de piedras o material sintético. Son piedras de 3 a 5 cm o trozos de plástico, y de un sistema de distribución del líquido sobre la superficie del lecho. Este sistema de distribución se realiza desde un mástil central que hace de sostén para los brazos giratorios y la columna central de ingreso del líquido. El fondo del lecho percolador está constituido por el sistema de drenaje y ventilación del lecho.

#### **Ventajas:**

- Simplicidad de construcción y operación que no exige personal muy calificado.
- En general, no necesita energía eléctrica.
- Puede servir como un buen tratamiento intermedio.

#### **Desventajas:**

- El efluente, dada la baja eficiencia del sistema, puede no cumplir con los requisitos para el vuelco de algunos cuerpos receptores, DBO 25 ppm.

- Normalmente hay una gran cantidad de pérdida de carga, una diferencia de cotas importante, entre el sedimentador primario y secundario. Entonces, se requiere un diseño muy cuidadoso del perfil hidráulico.

En el lecho percolador, los microorganismos, están adheridos a la superficie de las piedras del lecho percolador, formando un gelatina (zooglea). El líquido percola y los microorganismos degradan la materia orgánica que contiene.

Los lechos se pueden aplicar al tratamiento secundario de un efluente doméstico o mezclarse con efluentes industriales, preferentemente orgánicos, que no contengan inhibidores del proceso biológico.

En el diseño se considera como una única unidad al conjunto de lecho percolador sedimentador secundario.

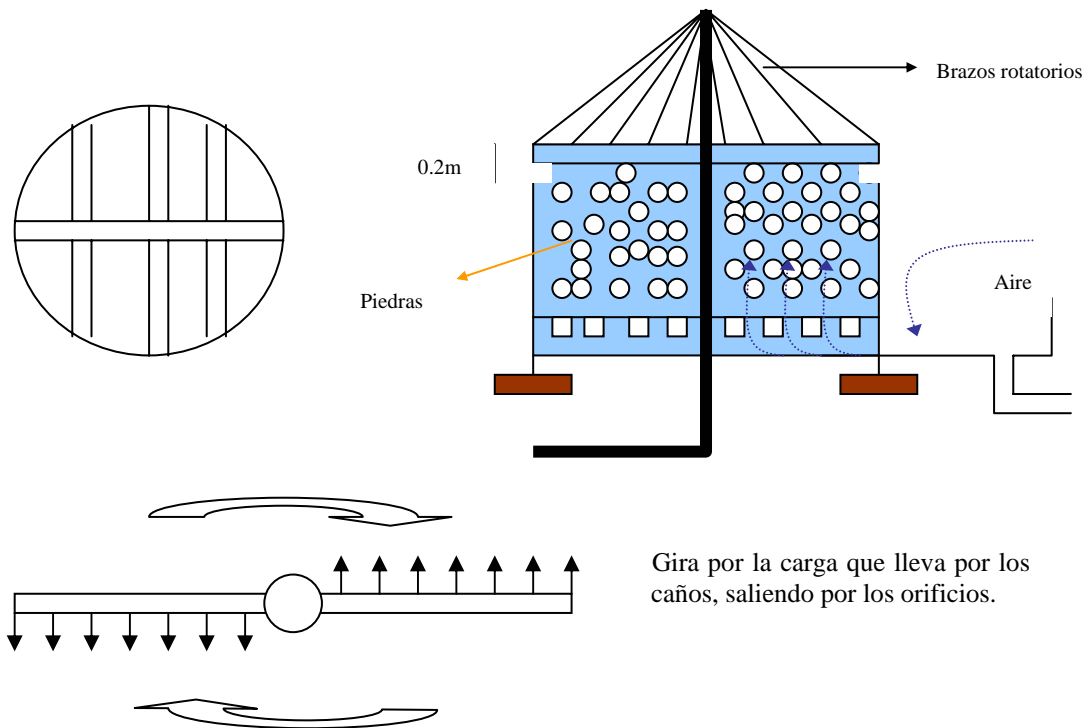
**Los lechos se clasifican según su carga hidráulica, carga orgánica y la recirculación:**

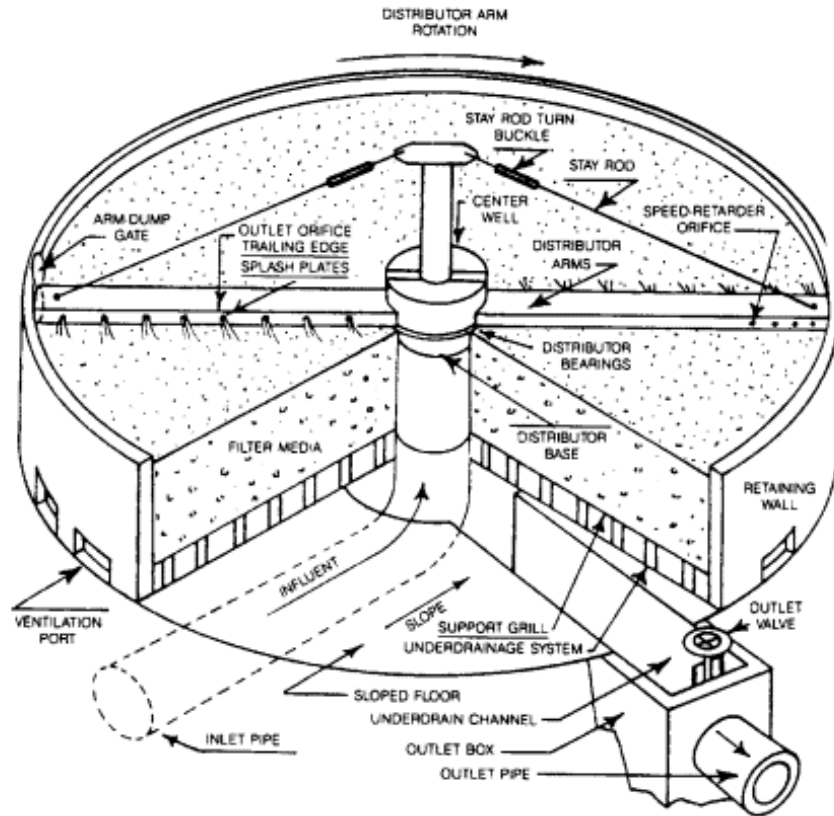
• **Carga hidráulica:** es el volumen total de líquido incluyendo la recirculación aplicado al lecho por día y por unidad de superficie.

• **La carga orgánica Cv o volumétrica:** es la cantidad de DBO en peso (peso de la DBO), aplicado diariamente por unidad de volumen de piedra.  $C_v = V_g \cdot DBO / m^3 \text{ piedra} \cdot \text{día}$   
En función de la DBO del líquido efluente se puede sacar la carga de la DBO del líquido que llega.

• **Recirculación:** es el retorno de una parte del líquido que ha pasado por el lecho.  
Caudal recirculado ( $Q_r$ ), Coeficiente de recirculación ( $r = Q_r / Q_a$ ), Caudal Afluente ( $Q_a$ ).  
En los lechos se recircula el líquido para mantener un caudal más uniforme y para hacer pasar más de una vez la carga orgánica sobre el manto y aumentar la eficiencia del tratamiento, principalmente.

Son circulares hasta de 40-45m de diámetro. El piso tiene un canal central y colectores cubiertos con lozetas





Esquema de un lecho percolador



figura de lecho percolador

### Lodos activados

Agitación de una mezcla de líquido cloacal con 15% en volumen, o más en concentración de barro líquido bacteriológicamente activo, en presencia de una gran cantidad de oxígeno atmosférico durante el

tiempo necesario para coagular una gran proporción de las sustancias coloidales seguido de una sedimentación adecuada para separar el barro floculado.

Barro con una gran cantidad de bacterias que se alimentan de la materia orgánica del líquido cloacal. El barro biológico mezclado en el líquido cloacal se llama licor mezclado.

El tanque de alimentación y el sedimentador secundario constituyen (se consideran como) una única unidad operacional.

**Las etapas que componen el proceso son:**

- 1- **Etapas de contacto:** Absorción/ floculación del líquido cloacal y el barro activado.
- 2- **Aireación:** Mantiene aeróbico y en suspensión el licor mezclado. Ambas etapas se dan simultáneamente en el tanque de aireación.
- 3- **Separación** de la fase sólida (barro activado) y líquida (efluente).
- 4- **Etapas de recirculación:** haciendo retornar el barro activo del sedimentador secundario al afluente del tanque de aireación.
- 5- **Etapas de disposición del barro activado:** en exceso a fin de mantener la biomasa en equilibrio.

El grado de purificación obtenido es muy elevado (90-95% de DBO y SS).

**Ventajas:**

- Alto grado de purificación
- Área requerida pequeña (para instalar la planta)
- El costo inicial de construcción es bajo
- La pérdida de carga es muy pequeña.
- Es inodoro.
- El barro producido tiene un alto % de N

**Desventajas:**

- El volumen de barro a manipular es muy grande
- El carácter del barro dificulta su manejo por el peso.
- Mucho consumo de energía eléctrica. Los costos de explotación son elevados.
- Hay mucho equipo mecánico que controlar y mantener. Un inconveniente prolongado en la planta resulta en un barro pobre y requiere mucho tiempo para remediarlo 10-20 días, produciendo un efluente de mala calidad.
- Desagües industriales o ciertos productos químicos son tóxicos o bactericidas, y destruyen el ciclo de purificación.

Consumo de aire es de entre 3 y 12 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de líquido cloacal. La inyección del aire puede hacerse por placas, tubos porosos, difusores o agitadores mecánicos.

**Tipos y variantes de lodos activados.**

De acuerdo a la carga orgánica a tratar respecto de la biomasa activa en el licor mezclado que se está aireando se tiene los sistemas:

- De baja carga a aireación prolongada (tiene mayor eficiencia).
- De media carga o convencionales.
- De alta carga (en general no se usan).

**Sistema de media carga o convencionales.**

El líquido a tratar y los lodos del sedimentador secundario llegan de forma simultánea a la entrada del tanque de aireación. En este punto el consumo de oxígeno es muy grande y luego va disminuyendo hacia la zona de salida.

**Por esta causa hay variantes a este sistema, como ser:**

- 1- **De aireación gradual:** El aire suministrado es más fuerte a la entrada y disminuye hacia la salida, a medida que va disminuyendo la actividad biológica. No es muy usado.
- 2- **Alimentación escalonada:** El líquido ingresa al tanque en distintos puntos de su longitud. El lodo ingresa en un extremo en coincidencia con un difusor y los otros difusores coinciden con la entrada del líquido.
- 3- **Sistema de aireación de mezcla completa:** Este proceso se realiza en tanques en forma simétrica, en cualquier punto del tanque hay igual proporción de líquidos y lodos e igual DBO.

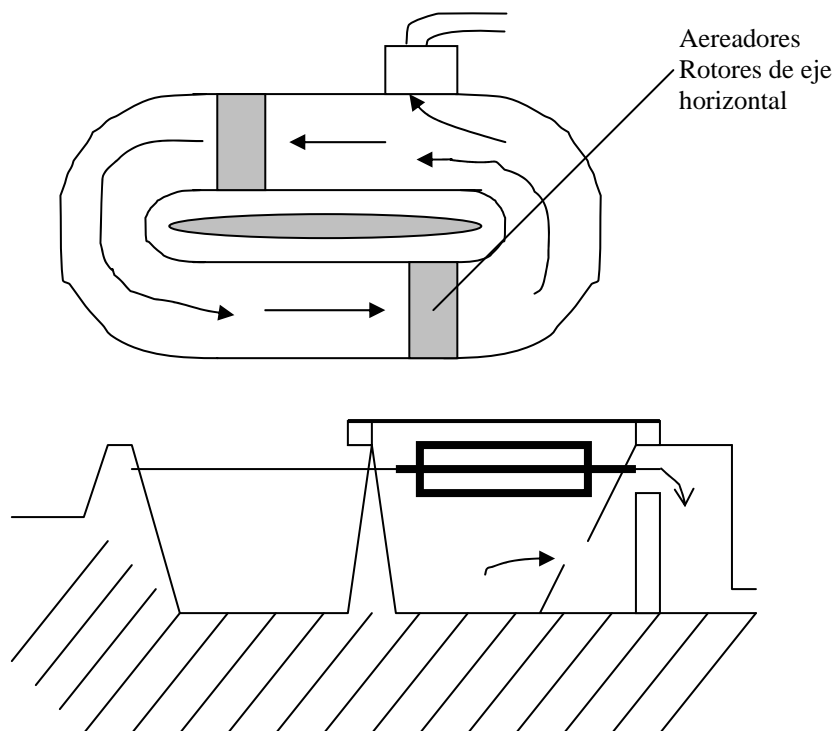
### Zanjas de oxidación

Son una variante del tratamiento de barros activados.

En el año 1953, Pasver (Holanda), inventó éstas zanjas. En Brasil (1961) se construyó la primera zanja americana. La aplicación de éstas quedó limitada por muchos años a localidades de 10000 hab. como máximo, o con volúmenes líquidos  $<1500 \text{ m}^3$ , cargas orgánicas hasta 500 kg. DBO/día y tirantes de 1,5 m.

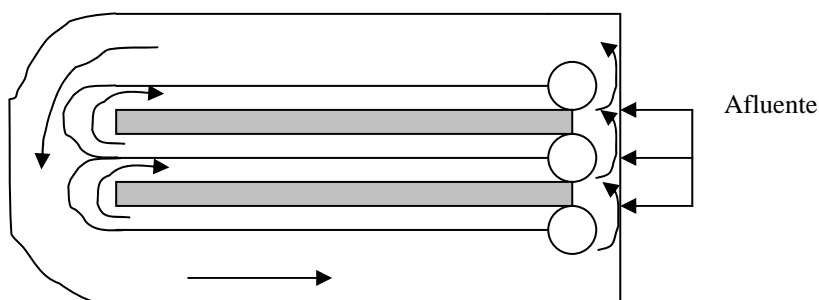
Ésta limitación se debía a que con la utilización de rotores de eje horizontal no se obtenía una mezcla adecuada en el fondo de zanjas profundas.

La aparición de rotores más grandes (hasta 1m de diámetro) permitió incrementar el tirante líquido hasta 3m y se pudo ampliar la cantidad de habitantes a servir hasta 50000 hab.



### Zanja tipo Zepper (carousel)

El desarrollo de canales de flujo horizontal con aireadores de eje vertical (Zepper, 1970) permitió desarrollar plantas de gran caudal. Fueron las llamadas zanjas de tipo Carousel, preparadas para poblaciones de 250000 hab.



Tiene tres aireadores de eje vertical (tipo turbina: impulsan el agua y la airean) no se requiere sedimentación previa o digestión separada de los lodos. Son una variante del barro activado (de baja carga orgánica). El líquido a tratar y los barros del sedimentador secundario ingresan al reactor y son mezclados y aireados y se denominan licor mezclado.

Dentro de la zanja hay una alta depuración de los lodos. Además, al mismo tiempo se realiza un proceso terciario ya que la mayor parte de los compuestos del nitrógeno se oxidan (nitrificación) y los fosfatos son reducidos en cierta medida.

Tiene gran eficiencia orgánica y de nutrientes (N y P).

La nitrificación es la oxidación de los compuestos de nitrógeno transformando nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal en nitritos y luego nitratos.

La cantidad de  $O_2$  aportado al proceso se utiliza para la producción/síntesis de nuevas células, para la respiración endógena y para la nitrificación. La suma de éstos 3 procesos lleva a la demanda total de oxígeno. Se tiende (en aireación prolongada) a que el sistema trabaje en la fase de respiración endógena.

**Respiración endógena:** En el sistema cloacal hay microorganismos que en presencia de  $O_2$  y alimentos se desarrolla y forma colonias (en la etapa de síntesis de nuevas bacterias). Llega un momento en que la materia orgánica del líquido cloacal se agota, y como estoy agregando  $O_2$ , comienza la fase de respiración endógena, en que los microorganismos jóvenes canibalizan a los viejos para alimentarse. Así tenemos una buena cantidad de microorganismos para seguir y descomponer el nitrógeno. En un proceso de DBO se convierte primero la materia orgánica carbonácea y luego (de unos 10 días) la nitrogenada.

Por lo que, la respiración endógena es la etapa de autodestrucción de las células viejas para el aprovechamiento de su energía.

Para renovar la biomasa activa, se inyecta al reactor el barro recirculado que viene del sedimentador secundario. Para mantener el equilibrio entre el afluente cloacal (alimento) y la biomasa que lo procesa, es necesario retirar cada día la misma cantidad de barros que se forma en el reactor (en la zanja)

Otro insumo importante es el  $O_2$ , que debe satisfacer las etapas mencionadas. El aporte de  $O_2$  se hace a través de aireadores mecánicos semisumergidos que aportan el  $O_2$  y proveen la energía necesaria para la mezcla y para mantener la circulación del líquido en la zanja con una velocidad tal que no se produzca sedimentación.

En zanjas profundas, lo que se llama densidad de potencia ( $W/m^2$ ) está dado por el conjunto de aireadores, y no debe ser  $< 15 W/m^2$  para evitar depósitos o sedimentos de sólidos o de la biomasa.

La densidad de potencia necesaria para mantener un escurrimiento en canales (que era de 0,3 m/s) representa el 4-5% del total aportado por los aireadores. El barro resultante del proceso está muy mineralizado, lo que permite que pueda ser dispuesto sin problemas en las playas de secado.

Considerando la alta humedad de los lodos (similar al 99%), es conveniente utilizar espesadores antes de disponer el lodo en las playas de secado (le sacan un 20-30% de humedad)

Los mayores inconvenientes de las zanjas son:

- El alto consumo de energía (alta densidad de potencia para satisfacer la demanda de oxígeno)
- La dependencia de equipos mecánicos (que deben funcionar continuamente, o el sistema colapsa)
- No aseguran la eliminación de esporas y huevos de parásitos

## Lagunas de Estabilización

Son estanques conformados perimetralmente por diques de tierra, con profundidades menores a 5 m. Y períodos de permanencia hidráulica entre 1 a 40 días, divididos en compartimientos que tienen distintas finalidades.

### Objetivos:

- Reducir e inactivar organismos patógenos presentes en líquidos residuales
- Disminuir la DBO o DQO del líquido
- Permitir el reuso del líquido para agricultura.

La laguna de estabilización puede reducir considerablemente los agentes patógenos, lo que no se cumple con los procedimientos de tratamiento normales salvo que se desinfeste el efluente previamente.



### **Ventajas:**

- En las lagunas con grandes períodos de retención hidráulicos, generalmente se eliminan los huevos y quistes de los parásitos intestinales, lo que no ocurre con tratamientos convencionales, aún con desinfección.
- Pueden tratar gran variedad de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas cuando la carga de las mismas es biodegradable.

### **Inconvenientes:**

- En comparación a la cantidad de experiencias efectuadas, hay pocos modelos matemáticos y formulaciones de proyecto.
- En nuestro país no se han desarrollado investigaciones para obtener parámetros racionales de diseño.
- Se requiere disponer de terrenos aptos para la ejecución de la laguna.
- Deben estar alejados de la zona poblada, lo que obliga a proyectar emisarios de gran longitud.
- Cuando el efluente contiene algas y en el cuerpo receptor hay pocos nutrientes, las algas vegetan y tienen una pequeña demanda (DBO) que no es objetable. En cambio si no hay luz solar suficiente se mueren y sedimentan produciendo demanda de oxígeno por respiración endógena.
- En cursos sin agua permanente como ocurre en zonas secas no es aconsejable la aplicación de lagunas, ya que las algas del efluente pueden producir olores al descomponerse.

## **Clasificación de las lagunas de estabilización**

- **Aeróbicas:** Soportan cargas orgánicas bajas y contienen oxígeno disuelto en todo instante y en todo volumen del líquido
- **Anaeróbicas:** Se proyectan para altas cargas orgánicas y no contienen oxígeno disuelto. El proceso es semejante al de un digestor anaeróbico sin mezcla.
- **Facultativas:** Operan con una carga orgánica media. En las capas superiores hay un proceso aeróbico. En las capas inferiores se tiene un proceso anaeróbico, donde se produce simultáneamente fermentación ácida y metánica.
- **De maduración:** Se utilizan como una segunda etapa de tratamiento a continuación de lagunas facultativas. Se diseñan para disminuir el número de organismos patógenos, ya que las bacterias y virus mueren en un tiempo razonable, mientras que los quistes y huevos de parásitos intestinales requieren más tiempo. También reducen la población de algas. Hay pequeña remoción de la DBO.
- **Aireadas facultativas:** Son una extensión de las lagunas facultativas convencionales. Tienen como función suministrar oxígeno al proceso, cuando la actividad de las algas se reduce durante la noche. Esta acción provoca la disminución de la zona anaeróbica e incrementa la aeróbica provocando la concentración de algas en toda la masa líquida.
- **Aireadas de mezcla completa:** Tienen un nivel de potencia instalados (aireadores) suficientemente alto para suministrar todo el oxígeno requerido y además para mantener en suspensión los sólidos. Es una variante de aireación prolongada sin recirculación. Tiene mayor permanencia hidráulica.
- **Lagunas de sedimentación:** Son empleadas para clarificar el efluente de las lagunas aireadas aeróbicas. En ellas se produce el almacenamiento y digestión de los lodos sedimentados.

## **Función de las algas en las lagunas de estabilización**

Son organismos capaces de sintetizar materia orgánica compleja. Contienen pigmentos fotosintéticos denominados clorofila, mediante la cual producen oxígeno absorbiendo energía de la luz solar y convirtiéndola en calor y energía química.

Entre las acciones que desarrollan las algas en las lagunas podemos citar:

- Producir oxígeno para la descomposición de la materia orgánica y mantener las condiciones aeróbicas del líquido
- Remueven los nutrientes como son los compuestos del fósforo, nitrógeno y carbono para satisfacer necesidades nutricionales.

La mayor parte de la población algacea se encuentra en los primeros centímetros de la capa superficial.

## Procesos que se desarrollan en las lagunas de estabilización

La materia orgánica que ingresa en la laguna de estabilización se halla en estado de sólidos sedimentables y sólidos en suspensión, éstos a su vez en estado coloidal y diluidos. Los sólidos sedimentables y coloidales floculados, sedimentan en el fondo de la laguna y particularmente en la zona de ingreso. En cambio, el resto de la materia orgánica permanece en la masa líquida. Los sólidos biodegradables depositados son estabilizados por las bacterias formadoras de ácidos y de metano que en condiciones anaeróbicas producen gases que escapan a la atmósfera, y compuestos solubles en la masa líquida. Las bacterias, especialmente las facultativas, estabilizan la fracción no sedimentables de la materia orgánica presente en el efluente y la solubilizada del lodo sedimentado.

## Factores que influyen en las reacciones biológicas (no controlables por el hombre)

1. • **Radiación solar:** En las lagunas facultativas es fundamental la fotosíntesis realizada por las algas para producir el oxígeno requerido por las bacteria aeróbicas. La radiación solar que se produce durante el día interviene en forma directa en la fotosíntesis.
2. • **Temperatura del agua en las lagunas:** Es un factor fundamental en el diseño de la laguna. Los procesos de reducción de la materia orgánica por acción bacteriana son dependientes de la temperatura. Un aumento de 4 – 5 °C en la temperatura puede aumentar enormemente la eficiencia de la laguna.
3. • **Vientos:** Influyen en la aireación y homogenización de los líquidos de las lagunas, además de regular la temperatura. Los vientos además favorecen la mezcla y rotura de la estratificación térmica.

## Factores que influyen en las reacciones biológicas (controlables por el hombre)

1. • **Carga orgánica superficial** (kg DBO/d.hab).
2. • **Profundidad de la laguna** (m).
3. • **Distribución del ingreso de la carga hidráulica.**
4. • **Período de detención hidráulica** (d).
5. • **Operación en serie o en paralelo.**

## Condiciones generales para el diseño

- Debe ubicarse alejadas de núcleos urbanos (como mínimo 1000 m)
- La dirección de los vientos predominantes debe seguir la dirección del flujo en la laguna para alejar olores.
- La relación ancho:largo será de 3:6 y se evitará la formación de islas. Radio mínimo en extremo: 5m
- La altura de los diques de tierra entre el coronamiento y el líquido será > 0,5 m y los taludes internos y externos tendrán una inclinación de vertical: horizontal = 1:2. Y 0,5 m debajo y por sobre el líquido debe haber un revestimiento de pasto, hormigón, ladrillos u otros que aplaquen el oleaje.
- Cuando exista infiltración, debe impermeabilizarse el fondo.
- El ingreso a la laguna se hará por medio de al menos 2 emisarios sumergidos
- El sistema de salida no debe dejar lugares muertos. Se recomienda igual número de entradas que de salidas.

## ***Criterios de dimensionamiento***

### ***Lagunas anaeróbicas***

- Superficie < 5 ha
- Profundidad > 3 m
- Tiempo de retención 4 – 6 días @ 14 – 20 °C  
3 – 5 días @ > 20 °C
- si no se proyectan desarenadores previos: 0,5 m extra en al menos 50% de la laguna.

### ***Lagunas facultativas***

- Superficie < 15 ha
- Profundidad 1,5 – 2,2 m (primarias) (más adicional de 0,1 – 0,15 m)  
> 1,2 m (siguientes)

## **Procesos de tratamiento del barro.**

Existe una gran variedad de procesos y de operación unitarias a las cuales se lo puede someter al barro y son los siguientes:

1. Operación de pretratamiento:
  - ✓ Dilaceración.
  - ✓ Mezclado.
  - ✓ Almacenamiento.
  - ✓ Desarenado.
2. Concentrado:
  - ✓ Concentrado en tambor rotativo.
  - ✓ Concentrado por gravedad.
  - ✓ Concentrado por flotación.
  - ✓ Concentrado por gravedad en banda.
  - ✓ Centrifugación.
3. Estabilización:
  - ✓ Oxidación por cloro.
  - ✓ Estabilización con cal.
  - ✓ Tratamiento térmico.
  - ✓ Digestión anaeróbica
  - ✓ Digestión aeróbica
  - ✓ Compostaje.
4. Acondicionamiento:
  - ✓ Acondicionamiento químico
  - ✓ Tratamiento térmico.
5. Desinfección:
  - ✓ Pasterización.
  - ✓ Almacenamiento a largo plazo.

6. Deshidratación:
  - ✓ Filtro de vacío.
  - ✓ Filtro prensa.
  - ✓ Filtro de banda horizontal.
  - ✓ Centrifuga.
  - ✓ Playa de secado.
  - ✓ Laguna.
7. Secado:
  - ✓ Evaporador de efecto múltiple.
  - ✓ Secado instantáneo.
  - ✓ Secado por pulverización.
  - ✓ Secado en horno rotativo
  - ✓ Secado en horno de pisos múltiples.
8. Reducción térmica:
  - ✓ Incineración en hornos de pisos múltiples.
  - ✓ Incineración de lecho fluidificado.
  - ✓ Combustión instantánea.
  - ✓ Coincineración con residuos sólidos.
  - ✓ Oxidación por vía húmeda.
  - ✓ Reactor vertical de pozo profundo.
9. Evacuación final:
  - ✓ Vertedero.
  - ✓ Aplicación al suelo.
  - ✓ Recuperación de terreno.
  - ✓ Reutilización.

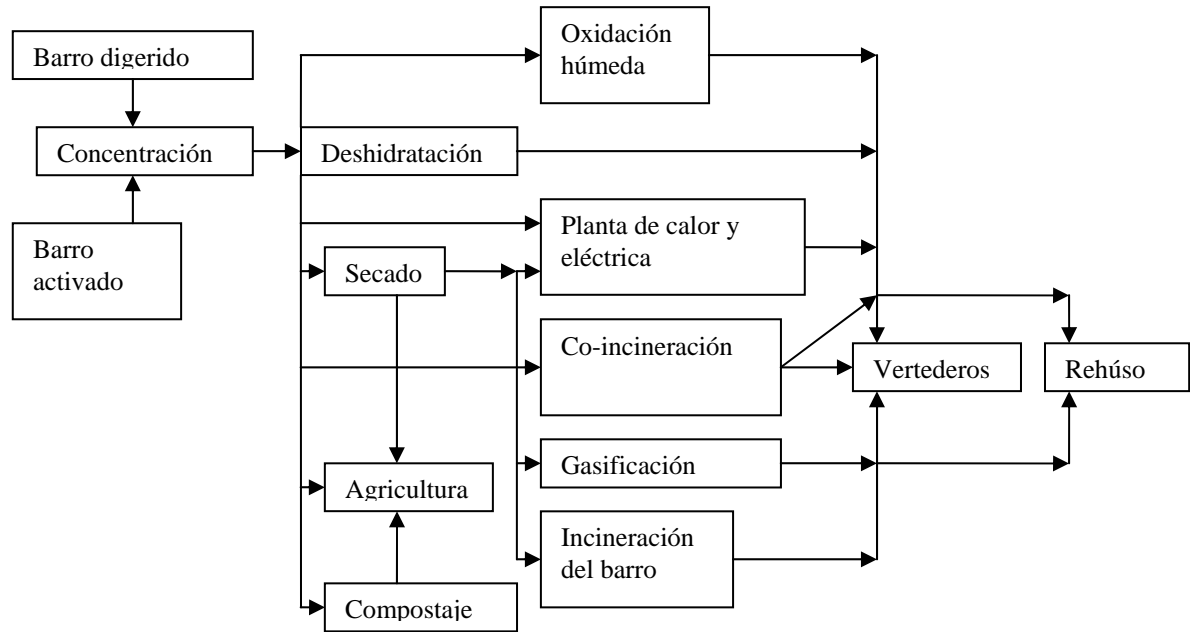
En la practica los procesos más frecuentemente utilizados se dividen en dos categorías principales, según se aplique o no un tratamiento biológico. Además esta división se los puede clasificar en otros dos grandes grupos que son:

- ✓ **Diferentes métodos de pretratamiento de barros.** En estos métodos se toma el barro crudo y se lo somete a distintos métodos y se obtiene como resultado un barro estabilizado e higiénico en todos los casos.
- ✓ **Distintos tratamientos y rutas de evacuación del barro.**

Los métodos de **pretratamiento** consisten en:

- ✓ Se lo somete al barro a un wet-composting, luego a una deshidratación. El tratamiento se lleva a cabo en aproximadamente 7 días.
- ✓ Se somete al barro a un pretratamiento aeróbico termofílico, luego a una estabilización anaeróbica y por último a una deshidratación. El tratamiento se lleva a cabo en aproximadamente 12 días.
- ✓ Se somete al barro a una pasteurización, luego a una estabilización anaeróbica y por ultimo a una deshidratación. El tratamiento se lleva a cabo en aproximadamente en 15 días.
- ✓ Se somete al barro a una estabilización anaeróbica, seguida de una deshidratación y una deshidratación térmica. El tratamiento se lleva cabo en 12 días aproximadamente.
- ✓ Se somete al barro a una deshidratación, seguida de una deshidratación térmica. El tratamiento se lleva a cabo en 4 horas aproximadamente.

Los distintos tratamientos y rutas de evacuación del barro consisten en:



Bibliografía:

**Catalán, J. G.** *Química del agua*. Madrid: Editorial Bellisco, 2ª ed., 1990. Obra técnica sobre el agua

**López Vera, Fernando.** *Contaminación de las aguas subterráneas*. Madrid: MOPU, 1991. Breve obra divulgativa.

**Mason, C. F.** *Biología de la contaminación del agua dulce*. Madrid: Editorial Alhambra, 1984.

**Pérez, J. A. y otros.** *Estudio sanitario del agua*. Granada: Universidad de Granada, 1995. Manual práctico; incluye sección sobre la contaminación y la salud.

**Pesson, P. (editor).** *La contaminación de las aguas continentales*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1979. Obra de carácter divulgativo; incluye bibliografía.

**Seoanez Calvo, Mariano.** *Aguas residuales urbanas*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1995. Obra técnica sobre degradación del agua y depuración.