

## COMPONENTES Y SISTEMAS PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES

### 5.0 PROCESO DE LODOS ACTIVADOS:

El tratamiento de las aguas residuales implica una serie de procesos y operaciones unitarias, comunes en la Ingeniería Química, y que son empleadas frecuentemente en el tratamiento y acondicionamiento de aguas naturales. Estas operaciones unitarias son la sedimentación, filtración, cribado, etc.

Adicionalmente a estos procesos es necesario un tratamiento biológico, a través del cual el material orgánico presente en el agua residual es convertido parcialmente a material celular o biomasa, y el resto se oxida a metano y productos inorgánicos como: agua, carbonatos, bióxido de carbono, amoníaco, nitratos, etc.

Quiénes llevan a cabo este proceso, son una gran masa de microorganismos de especies muy variadas, y que cumplen funciones específicas en el proceso de depuración de material orgánico en las aguas residuales.

Estos microorganismos pueden ser: aerobios, anaerobios o facultativos. En presencia de oxígeno, los aerobios y facultativos son los que crecen y se desarrollan, mientras que en ausencia de oxígeno los anaerobios y facultativos predominan.

Los procesos aerobios son los más convenientes para la conversión del material orgánico en las aguas residuales, y el proceso anaerobio es el más adecuado para la conversión del material orgánico que se tiene en los lodos biológicos producidos en el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

Durante el proceso de digestión del material orgánico por procesos aerobios, se forman productos intermedios que no son de carácter agresivo o repulsivo, lo cual si ocurre en un proceso anaerobio, por lo tanto la digestión aerobia se lleva a efecto en espacios abiertos, con grandes suministros de oxígeno y buena ventilación.

Por el contrario, la digestión anaerobia se realiza en un recipiente cerrado, y solo es abierto una vez que el material orgánico se ha convertido a productos terminales, que ya no son objetables y pueden manejarse los residuos adecuadamente.

Por estas razones, los procesos de tratamiento de aguas residuales en digestores o reactores biológicos aireados (reactor aerobio), son los más convenientes y los más frecuentemente empleados.

Uno de los procesos aerobios más empleados es el proceso de lodos activados. No hay un solo proceso de lodos activados, y existen muchas variaciones de dicho proceso para darle tratamiento a diferentes tipos y calidades de agua, o para obtener un agua tratada con ciertos parámetros de calidad.

### 5.1 TRANSFERENCIA DE GASES Y AIREACIÓN:

El fenómeno de transferencia de gases, desde el medio ambiente hacia el agua de proceso y viceversa, es muy empleado en tratamiento de aguas residuales. Entre los procesos en los que se emplea la transferencia de gases se encuentran:

- ▶ La remoción de nitrógeno de los efluentes o desnitrificación.
- ▶ La aireación en el proceso de digestión aeróbica de la materia orgánica.
- ▶ La inyección de cloro gaseoso en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

**AIREACIÓN EN DIGESTIÓN AERÓBICA:** De todos los procesos de transferencia de gases, el más importante de todos, es el que se lleva a cabo en la digestión aeróbica de la materia orgánica de las aguas residuales.

Los organismos aeróbicos dependen del oxígeno para mantener los procesos metabólicos que producen la energía necesaria para su crecimiento y reproducción.

El oxígeno al igual que todos los gases en la atmósfera, son solubles en el agua en mayor o menor grado. Los dos principales gases componentes del aire: oxígeno y nitrógeno tienen muy baja solubilidad ya que no reaccionan químicamente con el agua y su solubilidad está de acuerdo a la ley de Henry, que establece que la solubilidad de un gas es directamente proporcional a la presión parcial ejercida por este.

La solubilidad del oxígeno también es función de la temperatura: a mayor temperatura menor solubilidad. Otro factor determinante en la solubilidad de gases es la composición del agua; por ejemplo, a la misma temperatura la solubilidad del oxígeno en agua salada o agua de mar es menor que la solubilidad de este gas en agua pura.

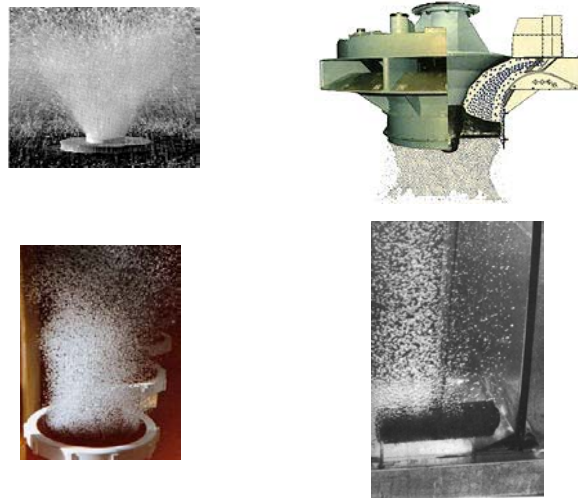
La solubilidad máxima del oxígeno atmosférico varía desde 14.6 mg/lto a 0°C hasta 7 mg/lto a 35°C a 760 mm de Hg de presión atmosférica. Esta baja solubilidad del oxígeno en agua, es la principal limitante para la

autodepuración de las aguas residuales y la razón de la necesidad de la inyección de oxígeno atmosférico para de esta manera compensar por el oxígeno consumido en los procesos de digestión aeróbica.

El oxígeno puede ser suministrado en forma de oxígeno puro o como aire. En las plantas de tratamiento de aguas residuales, la transferencia de oxígeno se hace generalmente a través de dispositivos sumergidos, que forman pequeñas burbujas en el seno del líquido. Cuanto menor sea el tamaño de las burbujas mayor será la superficie de contacto y la difusión del oxígeno en el agua de tratamiento es mas eficiente.

Para incrementar aún mas el coeficiente de difusión, y mejorar el aprovechamiento del oxígeno suministrado, se provocan situaciones de turbulencia en el seno del líquido, con lo que el oxígeno se difunde mas efectivamente. Esta agitación o turbulencia se provoca con la misma masa de aire inyectada y/o con un medio de agitación mecánico.

AIREADORES SUPERFICIALES Y AIREADORES SUMERGIDOS O DE INYECCION DE AIRE



**Figura 4:** Aireación de aguas por medios de inyección y medios superficiales.

Existen muchos y muy variados sistemas de difusión de aire, cada uno de ellos con sus ventajas y desventajas. Otra alternativa para introducir grandes cantidades de oxígeno en el líquido, es por medio de aireadores superficiales, los cuales por efecto de la agitación en la superficie del reactor, rompen la masa de líquido exponiendo el agua al aire atmosférico y provocan que las pequeñas gotas formadas absorban el oxígeno del aire con el que tienen contacto.

Los aireadores mecánicos consisten de turbinas de alta o baja velocidad que se encuentran inmediatamente arriba de la superficie del líquido o flotan en éste. La agitación mecánica producida por las turbinas, además de favorecer la transferencia de oxígeno, es un excelente medio de agitación, lo cual como ya se ha indicado favorece el rendimiento en el aprovechamiento del oxígeno suministrado.

**TEORÍA DE LA DIFUSIÓN DE GASES:** La teoría de la difusión gaseosa se basa en un modelo físico en el cual se considera que existe una película en la interfase aire/agua. Esta interfase es la resistencia que se tiene que vencer para que el gas pase al líquido y viceversa. Matemáticamente este concepto se puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C)$$

$dC/dt$ =variación de concentración de gas mg/lto.seg

$K_L a$ =coeficiente global de transferencia de masa  $seg^{-1}$ .

Este coeficiente depende entre otros factores, del área de transferencia líquido/gas.

$C_s$ =Concentración de saturación del gas. mg/lto

$C$ =Concentración del gas en la solución. mg/lto.

De acuerdo a esta teoría se llega a las siguientes conclusiones:

- Cuanto mayor sea el área de superficie de la burbuja, mayor es el valor del coeficiente global de transferencia de masa.
- Para un volumen determinado de gas, mientras menor sea el tamaño de las burbujas, mayor es el área superficial.
- La turbulencia rompe más fácilmente la película de la interfase que se forma entre el líquido y el gas, por lo tanto, a mayor turbulencia, mayor eficiencia en la transferencia de el gas.

#### AIREADORES SUPERFICIALES TIPO CEPILLO Y TIPO TURBINA



**Figura 2:** Aireación superficial de aguas residuales con aireadores tipo cepillo y aireadores tipo turbina.

En el metabolismo aerobio, los microorganismos requieren además del oxígeno, de una fuente de carbono orgánico, agua, fósforo, nitrógeno y otros nutrientes. El medio también debe tener una temperatura y un pH adecuado en el cual las bacterias puedan crecer y proliferar, y de esta manera el proceso de digestión sea rápido y altamente efectivo.

En un medio adecuado, donde los nutrientes y el material orgánico están disponibles en abundancia, es necesario estar suministrando continuamente oxígeno. La solubilidad máxima del oxígeno en el agua es sumamente baja: 8.5 mg/lto a 25°C. Este es consumido en el metabolismo microbiano, y si se limita su presencia en el medio, las bacterias aerobias se inhiben y aparecen las facultativas y posteriormente las anaerobias, si persiste la falta de oxígeno.

En condiciones anaerobias la aparición de productos indeseables se hace presente, por lo que es necesario suministrar el oxígeno en las cantidades que se requieran. Para tener un medio aerobio adecuado, la concentración de oxígeno en el agua debe estar entre 1 y 2 ppm, y se deben evitar puntos muertos en el reactor biológico, donde se puedan generar condiciones anaerobias.

La falta de oxígeno en el proceso biológico, es uno de los factores cruciales en el tratamiento biológico. La falta de oxígeno no únicamente causa molestias por la aparición de productos de anaerobiosis, también, si el oxígeno es escaso, mueren cierto tipo de bacterias que son muy adecuadas para el tratamiento, y se favorece la aparición de otras que son más resistentes a la falta de oxígeno, como son las bacterias filamentosas.

Este tipo de microorganismos causan grandes problemas en la posterior operación de sedimentación, por lo que siempre se deben evitar.

**SISTEMAS DE AIREACIÓN:** La aireación forzada o suministro de oxígeno puede hacerse de dos formas: por medio de arreadores superficiales o por medio de difusores de inyección de aire. En ambos casos lo que en realidad se está suministrando es aire: una mezcla de oxígeno y nitrógeno. El oxígeno es metabolizado por la biomasa, y el nitrógeno entra y sale sin ningún cambio químico, y solo tiene efectos de agitación en la masa de agua que es aireada.

**AIREADORES SUPERFICIALES:** En aireadores superficiales, una turbina o un agitador que gira sobre la superficie del líquido, genera un efecto de remolino y gran turbulencia, produciéndose una gran cantidad de pequeñas gotas de agua, con lo cual se favorece la transferencia de aire a la fase acuosa. La teoría de la transferencia de masa de una fase gaseosa a una fase líquida, establece, entre otros factores, que cuanto mayor sea el área superficial de contacto, mayor es la eficiencia en transferencia.

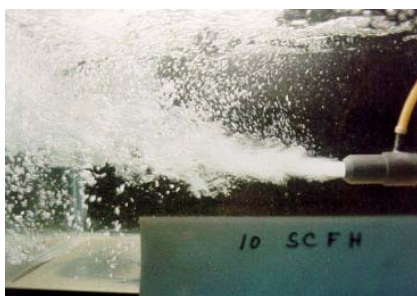
La mayor área de contacto de la masa acuosa, es cuando ésta forma pequeñas gotas similares al rocío o spray de partículas de agua, por lo que un buen agitador superficial deberá producir un gran volumen de gotas de agua de pequeño tamaño.

También, un agitador superficial deberá tener un diseño tal, que produzca un mezclado de toda la masa de agua del reactor. La hidráulica del agitador deberá estar diseñada para que las corrientes de agua de las partes profundas del reactor fluyan hacia la superficie y puedan ser oxigenadas.

**AIREADORES POR DIFUSIÓN:** Otra forma de suministrar aire, es por medio de difusores de burbuja. En este sistema, el aire es aspirado del medio ambiente, comprimido y conducido por tubería hasta los difusores, donde el aire es burbujado continuamente en el reactor aerobio, para mantener la concentración de oxígeno disuelto en un valor de 1-2 mg/lto.

Los difusores de burbuja pueden ser de tres tipos: de burbuja gruesa, de burbuja mediana y de burbuja fina. Desde el punto de vista de transferencia de masa, los difusores de burbuja fina son los más adecuados para aprovechar más eficientemente el oxígeno suministrado, ya que las pequeñas burbujas producidas en este difusor transfieren más eficientemente el oxígeno requerido en el metabolismo aerobio.

### AIREADOR TIPO JET



**Figura 3:** Aireación tipo jet de aguas residuales.

El problema con los difusores de burbuja fina, es que fácilmente se tapan por la formación de sarro y otros depósitos, en los poros del difusor, así como por la introducción de polvo y otras partículas en el aire que se inyecta, por lo que se requiere de una previa filtración del aire suministrado y de un mantenimiento mas frecuente en los difusores.

Los difusores de burbuja mediana y gruesa, no tienen este problema, pero la burbuja producida es más grande, por lo que la eficiencia en transferencia de oxígeno es mucho menor que en los difusores de burbuja fina.

### 5.2 FORMULA PARA AIREADORES CENTRÍFUGOS:

La potencia requerida de los aireadores superficiales puede determinarse con la siguiente ecuación.

$$P_w = \frac{wRT}{8.4e} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$P_w$ =Potencia de los aireadores en kW

$p_2$ =presión a la salida de los difusores

$p_1$ =presión a la toma de los sopladores

$w$ =masa de aire a suministrar Kg/seg

$R$ =Cte. general del estado gaseoso=8.314 kJ/kmol°K

$T$ =Temperatura del aire en °K

$e$ =eficiencia del soplador o aireador.

AIREADORES MIXTOS: Otros aireadores disponibles, son aquellos que son un híbrido de los aireadores mecánicos y los de inyección. De esta clasificación es el aireador tipo Jet, donde el aireador está configurado para que de manera natural o inducida se aspira aire el cual se inyecta al fluido y al mismo tiempo se tiene una o mas turbinas que producen la dispersión del aire en el seno del líquido, lo cual favorece el contacto del oxígeno con la biomasa que lo requiere, por lo que la eficiencia en aprovechamiento del oxígeno disponible es mayor.

**Tabla I:** Eficiencia en diferentes sistemas mecánicos y de difusión.

Sistema de aireación	Eficiencia en Transferencia del O <sub>2</sub> (%)	Kg O <sub>2</sub> /hra/Kw Valor en la practica
Sistemas de aireación por Inyección		
Burbuja Fina	10-30	0.7-1.4
Burbuja Mediana	6-15	0.6-1.0
Burbuja Gruesa	4-8	0.3-0.9
Sistemas Mixtos y de Turbina		
Sistema Jet	10-25	0.7-1.4
Turbina de Baja Velocidad		0.7-1.3
Turbina de Baja Velocidad con Tubos Deflectores		1.7-1.3
Aireador de Alta Velocidad con Flotadores		0.7-1.3
Aireador con Rotor Tipo Cepillo		0.7-1.3

SELECCIÓN DEL SISTEMA DE AIREADORES: Uno de los principales costos de operación de una planta de lodos activados, es la energía eléctrica necesaria para los mecanismos que efectúan el mezclado de la masa de agua y biomasa y para la oxigenación de los microorganismos aerobios presentes.

Cada sistema de aireación tiene sus virtudes y desventajas. En cuestión de costos, considerando consumo de energía eléctrica y mantenimiento, más o menos son equivalentes, por lo que la selección del sistema de aireación, entre otros factores, deberá ser considerado en base a criterios como:

- ▶ Precio del equipo
- ▶ Facilidad de conseguir suministros y repuestos
- ▶ Tipo de tratamiento (variación del proceso de lodos activados que se implementará en el tratamiento)
- ▶ Experiencia previa del sistema seleccionado

### **5.3 TIPOS DE DIGESTORES BIOLÓGICOS:**

El proceso de lodos activados consiste en crear un medio biológico, ausente de sustancias tóxicas y con las mejores condiciones de pH, temperatura, con los nutrientes requeridos y con un suministro adecuado de oxígeno.

En estas condiciones, los microorganismos presentes en el medio, consumen el material orgánico en su propio beneficio, por lo que convierten dicho material orgánico en nuevas células y productos del metabolismo, limpiando el agua de los desechos orgánicos pudiendo el agua ser empleada o integrada al medio ambiente sin que posteriormente se presenten problemas de putrefacción.

El agua residual que se procesa en plantas de este tipo, casi siempre son aguas residuales domésticas, entendiéndose por este término, aguas residuales de una composición más o menos definida, que provienen de los drenajes de casas habitación o de edificios públicos y privados como: oficinas, hospitales, restaurantes, comercios, etc.

En estas aguas, se presume de antemano que no hay agentes tóxicos, como los que puede desechar una industria o un taller, o que el volumen de desechos de estas fuentes son mínimos comparados con el volumen total del agua, y que por efectos de dilución no causan problemas en el proceso biológico de tratamiento. Aguas con estas características son las que mejor estudiadas están,

Si la fuente emisora es una industria, es muy probable que las aguas descargadas al sistema de drenaje tengan cantidades de contaminantes en concentraciones muy superiores a las máximas permitidas por la autoridad que cuida el cumplimiento de las normas, o también es posible que estas aguas contengan sustancias que pueden afectar la operación de una planta tratadora de aguas residuales de la ciudad o comunidad.

Cada día es más estricto el control de las aguas que se desechan, y el emisor está expuesto a multas, cierres temporales y hasta cancelaciones, hasta que el problema sea corregido.

Para disminuir los altos niveles de contaminantes, es posible que la industria emisora instale una planta de tratamiento de aguas residuales y de esta manera pueda corregir el problema. También, en zonas donde el agua es escasa y restringida, el motivo de instalar una planta propia, es el reciclar el agua de desecho, para su uso en riego, sistemas de enfriamiento, calderas, etc.

Son muchos los giros de la actividad industrial, por lo que también son muchas las variaciones que se pueden dar al proceso de lodos activados. Como cuerpos emisores de aguas residuales, cuyas características son muy diferentes a las de las aguas domésticas, se podrían mencionar ejemplos como las aguas emitidas por: rastros municipales, industrias de lácteos, industria cerámica, industria metal-mecánica, enlatadoras de alimentos, talleres de pintura, etc.

Las aguas producidas en cada una de estas industrias son diferentes, por lo que el proceso deberá adaptarse para el tratamiento adecuado de cada una de ellas.

**5.3.1 DIGESTOR TIPO PISTÓN (PLUG FLOW):** En este tipo de digestor, el agua fluye por el reactor de manera similar a como fluye el embolo en una jeringa. El movimiento del pistón hace que el agua fluya por el cuerpo de la jeringa, y a medida que avanza desplaza el agua.

En un digestor de este tipo, se pretende que el agua que llega al influente desplace la que se encuentra inmediatamente después, y ésta a la que se encuentra adelante y así sucesivamente. El tiempo de residencia del agua en el digestor, depende del área de sección transversal y de la longitud del tanque.

En el modelo ideal del flujo pistón, no hay mezclado de una corriente con la que se encuentra en su vecindad, por lo que las propiedades del agua y del licor mixto que se encuentra en el digestor, son diferentes en cada sección del tanque. Esto desde luego, no ocurre exactamente en la realidad, pero el flujo hidráulico más o menos se asemeja al modelo o patrón de flujo deseado.

**5.3.2 DIGESTOR CON MEZCLADO COMPLETO:** En el digestor de mezclado total, el influente que entra al proceso se pone directamente en contacto con todo el licor mixto y de inmediato se integra con el fluido del

digestor. Para lograr esto, en el tanque de reacción se dispone de agitadores que mezclan y homogenizan el licor de reacción.

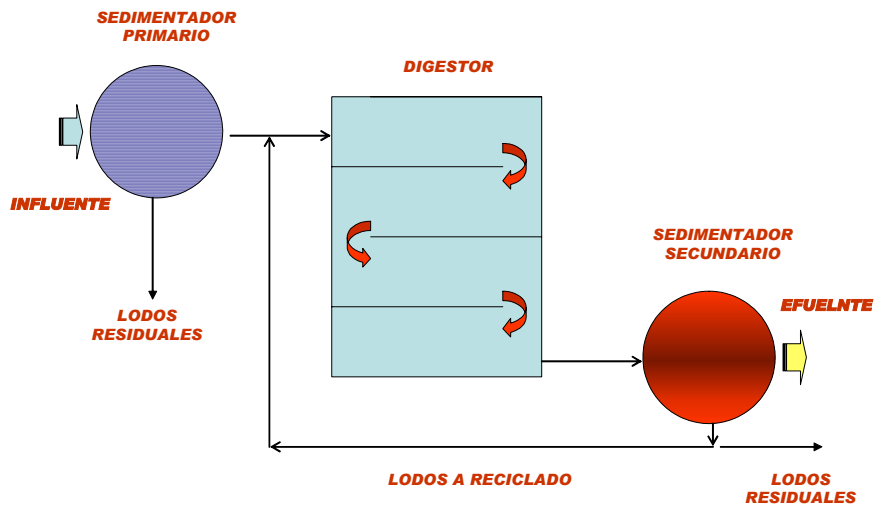


Figura 4: Digestor con patrón de flujo tipo pistón.

El tiempo de residencia del líquido en el digestor depende del volumen del tanque y del gasto o flujo en la alimentación. La geometría del tanque para un digestor de mezclado total es diferente a la del tipo pistón. En el de mezclado total, normalmente los tanques son cuadrados o redondos, y la forma de suministrar aire es por medio de agitadores superficiales. En el flujo pistón, los tanques son rectangulares, de mucho mas largo que ancho, y la forma de suministrar oxígeno es por difusores de burbuja.

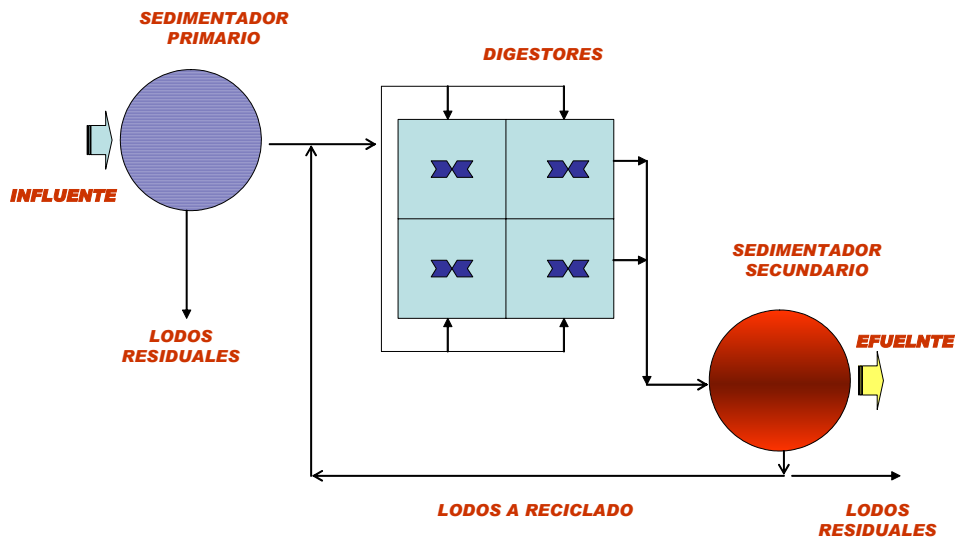


Figura 5: Digestor con mezclado total

5.3.3 DIGESTORES HÍBRIDOS: Debido a que cada modelo tiene sus ventajas y desventajas, y como no es posible tener un modelo único, en la práctica se tienen condiciones que en algunas ocasiones se asemeja el reactor al de mezclado total y en otras al de tipo pistón.

PRODUCCIÓN DE LODOS: Algo que es inherente a todo proceso de digestión de material orgánico, es la obtención de un subproducto, llamados lodos residuales. Los lodos residuales se componen principalmente de

células y microorganismos terminales del proceso de digestión aerobia, así como de material orgánico que no ha sido asimilado por las bacterias.

Si la relación sustrato/biomasa es baja, los microorganismos consumen gran parte del material orgánico y posteriormente entran a la fase de respiración endógena y finalmente a la etapa de extinción. Cuando esto ocurre, los lodos residuales están estabilizados y el producto no sufre descomposición posterior, por lo que puede disponerse de ellos sin problemas de anaerobiosis.

Cuando la operación de digestión aerobia es realizada con una alta relación sustrato/biomasa, los microorganismos disponen de una gran cantidad de material orgánico para consumir, por lo que no entran a la fase endógena o de extinción, y los lodos extraídos aún contienen gran cantidad de material orgánico biodegradable, por lo que son muy susceptibles de llevar a cabo el proceso de digestión del material orgánico residual en condiciones anaerobias, con todas sus consecuencias.

La biomasa que se produce a partir del material orgánico originalmente presente en el agua residual en un digestor aerobio, se convierte parcialmente en células nuevas y el resto en productos de oxidación aerobia como bióxido de carbono, agua, nitratos, etc. Esta biomasa son los llamados lodos activados, y básicamente son un conglomerado de un inmenso número de microorganismos de muy diversas especies, que efectúan diversos procesos biológicos.

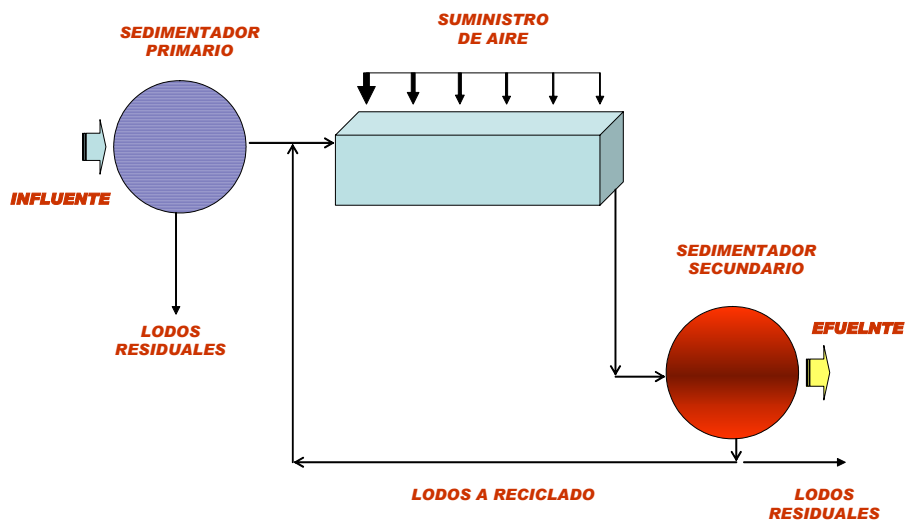
En un sistema de tratamiento secundario, donde se da el proceso biológico, están en contacto los lodos activados con el agua en tratamiento. A esta mezcla se le llama licor mixto.

Después de cierto tiempo de estancia del licor mixto en el reactor, este pasa al sedimentador secundario, donde por asentamiento se separa la masa de sólidos o biomasa, del agua que ha sido tratada.

El agua producida teóricamente contiene una DBO lo suficientemente baja para ser empleada para un uso específico o para un tratamiento posterior.

Los lodos, se reciclan al reactor biológico, ya que estos lodos son una masa activa de microorganismos que están dispuestos a consumir material orgánico, que es lo que se desea remover del influente.

No es posible que siempre se reciclen estos lodos, ya que continuamente está creciendo la masa de organismos y si no es retirada una parte, las condiciones de operación tal como el porcentaje de sólidos en el licor mixto, se alterarían y finalmente la masa de lodos colapsaría el reactor biológico.



**Figura 6:** Aireación escalonada

Para mantener una favorable relación sustrato/microorganismos, debe retirarse, en forma continua o periódicamente, una cierta cantidad de lodos. Estos lodos son los lodos de desecho y si no están estabilizados deberán estabilizarse por medio de una digestión aerobia o anaerobia.

Puede ocurrir que el proceso de tratamiento incluya una sedimentación primaria, donde se produce una cierta cantidad de lodos, los cuales no están estabilizados y se descomponen fácilmente. Si este es el caso, los lodos del sedimentador primario (no estabilizados) se juntan con los producidos en el sedimentador secundario (parcialmente estabilizados), para posteriormente digerirlos aeróbicamente o en un digestor anaerobio.



## 5.4 VARIACIONES EN EL PROCESO DE AIREACIÓN EN LODOS ACTIVADOS:

### 5.4.1 AIREACIÓN CONVENCIONAL:

En este proceso, el influente llega a un sedimentador primario donde se separan parte de los sólidos sedimentables, por lo que la DBO del agua que pasa al digestor biológico disminuye y puede ser tratada más eficientemente.

En el digestor aerobio, que puede ser aireado por aireadores superficiales o por difusores de aire, se da el tratamiento biológico. Después de un periodo de retención de 6-8 horas, el licor mixto pasa a un sedimentador secundario, donde los lodos activados se separan del seno del líquido y una parte de ellos son reciclados al reactor biológico y otra parte es extraída para mantener el balance de sólidos en el reactor.

**5.4.2 AIREACIÓN ESCALONADA:** Este tipo de proceso es básicamente similar al convencional, con la diferencia de que la aireación se hace de acuerdo a la DBO ejercida por el líquido en tratamiento. Como a la entrada del reactor, el agua tiene un alto contenido de material orgánico disponible, la demanda de oxígeno será mayor. En la salida del reactor, la cantidad de material biodegradable será mucho menor, por lo que la cantidad de oxígeno que se demanda es menor y se suministra menos oxígeno para aprovechar éste mas eficientemente.

Para esto, los aeradores ya sean superficiales o por difusión, se colocan de manera tal que a la entrada, las unidades de aireación son mayores que las que se encuentran dispuestas al final del reactor. Este tipo de reactor se adapta bien a aguas que tienen un alto contenido de DBO, mayor a lo que se tiene en aguas domésticas.

**5.4.3 AIREACIÓN POR PASOS:** En esta modificación del proceso, el influente se distribuye uniformemente en varias secciones del tanque, y los lodos de retorno entran directamente a la primera sección del digestor. De esta manera se tiene una demanda de oxígeno mas uniforme, y puede ser aprovechado con mayor eficiencia.

**5.4.4 AIREACIÓN MODIFICADA:** El tipo de reactor para esta variante del proceso es similar al de la aireación convencional o al de aireación escalonada. Lo que hace la diferencia en este proceso es en las condiciones de operación: en aireación modificada se tiene una alta relación Sustrato/Biomasa, y el tiempo de residencia del agua en el digestor es de 1.5 a 3 horas.

Bajo tales condiciones no es posible tener más de un 60-75% de eficiencia en la remoción de DBO, por lo que este proceso solo se adapta a procesos donde la DBO del agua a tratar es baja, cuando la DBO del agua procesada no es factor crítico, o cuando el proceso solo es un tratamiento previo

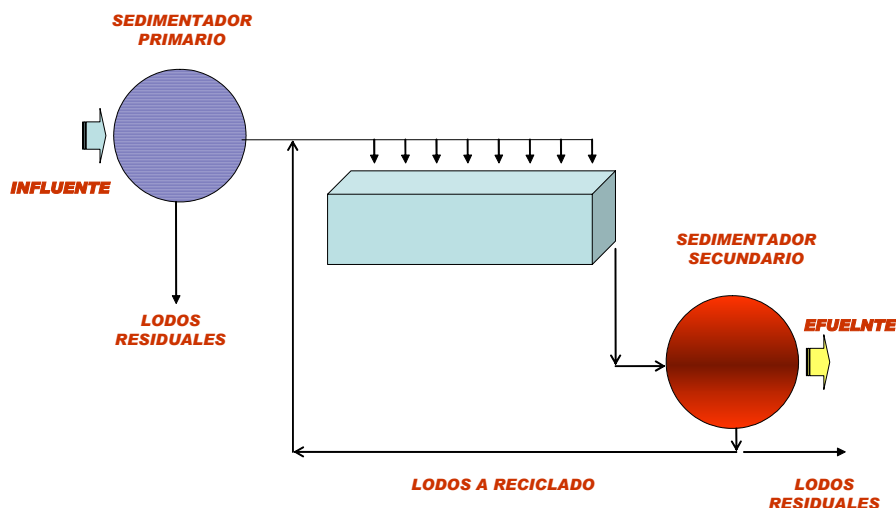


Figura 7: Digestor con aireación por pasos

**5.5.5 AIREACIÓN EXTENDIDA:** En un proceso de aireación extendida los microorganismos están en fase endógena, para lo cual se emplean bajas relaciones F/M y periodos de retención más largos de lo convencional.

Esta variación en el proceso de lodos activados es muy empleada en plantas paqueta que procesan volúmenes de agua relativamente pequeños, como es el caso de una procesadora de aguas residuales de un fraccionamiento, de un hotel o de una microindustria,

En este tratamiento de aireación extendida, las células son retenidas durante periodos de aireación relativamente largos y no se tiene suficiente sustrato por lo que los microorganismos entran en fase endógena y consumen su propio tejido celular. La consecuencia del metabolismo endógeno es que parte de las células se convierten en gases y la masa de lodos es menor que la que se produce en un proceso de lodos activados convencional, además de que los lodos producidos son más estables y menos putrefactos, por lo que es menos problemático su manejo y disposición final.

**5.5.6 AIREACIÓN DE ALTA VELOCIDAD:** En este tipo de proceso se tiene una alta concentración de sólidos en el licor mixto y se mezcla con altas cargas volumétricas de influente o agua a tratar, siendo además el tiempo hidráulico de retención muy corto. Para este tipo de reactor se requiere de un mezclado muy eficiente.

**5.5.7 AIREACIÓN CON OXIGENO PURO:** Como su nombre lo indica, este proceso se lleva a cabo con oxígeno de alta pureza en vez de con aire, como normalmente ocurre en todos los otros procesos.

Debido al alto costo del oxígeno, el reactor es un recipiente cerrado para estar continuamente recirculando el oxígeno presente. Periódicamente se debe purgar algo de los gases, ya que el bióxido de carbono que resulta de la respiración celular afecta el pH del licor mixto.

**5.5.8 CANALES DE OXIDACIÓN:** Los canales de oxidación han sido empleados desde hace tiempo en Europa, especialmente en Holanda para tratamiento de aguas residuales

Estos diques o canales son de forma anular u ovalada, y el agua circula a través del canal al mismo tiempo que se hace la aireación. Los aireadores de este tipo de tanques son del tipo cepillo. Estos consisten de una flecha que tiene una gran cantidad de paletas para provocar turbulencia en el agua. Continuamente la flecha se desplaza superficialmente de un punto a otro en el dique y de esta manera ocurre la aireación.

Normalmente los tiempos de retención son largos y una vez que el agua ha recibido el tratamiento, el efluente es dirigido a uno o más sedimentadores secundarios.



**Figura 8:** Digestor aerobio con aireación por difusores sumergidos.

REACTOR INTERMITENTE: Este reactor cumple una secuencia de: llenado, aireación, sedimentación, y por último separación del efluente y lodos. Todo esto se efectúa en el mismo recipiente, por lo cual se evita la necesidad de tener tanques adicionales como por ejemplo un sedimentador secundario.

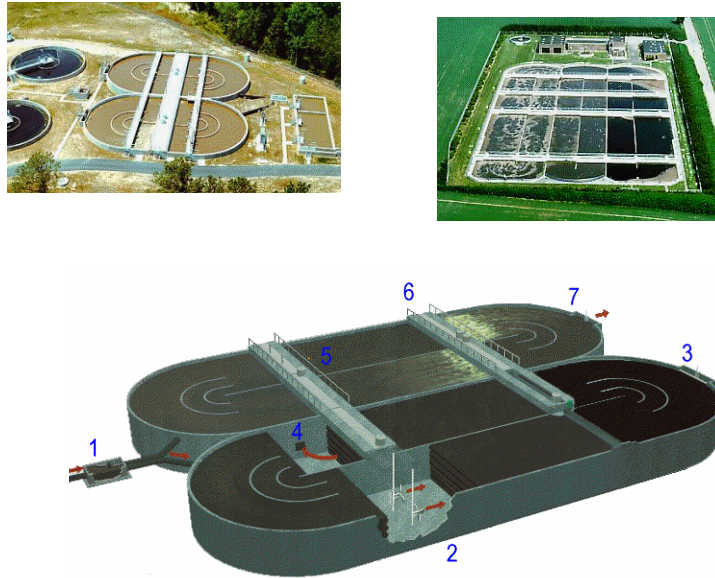


Figura 9: Canal de oxidación en diferentes variaciones.

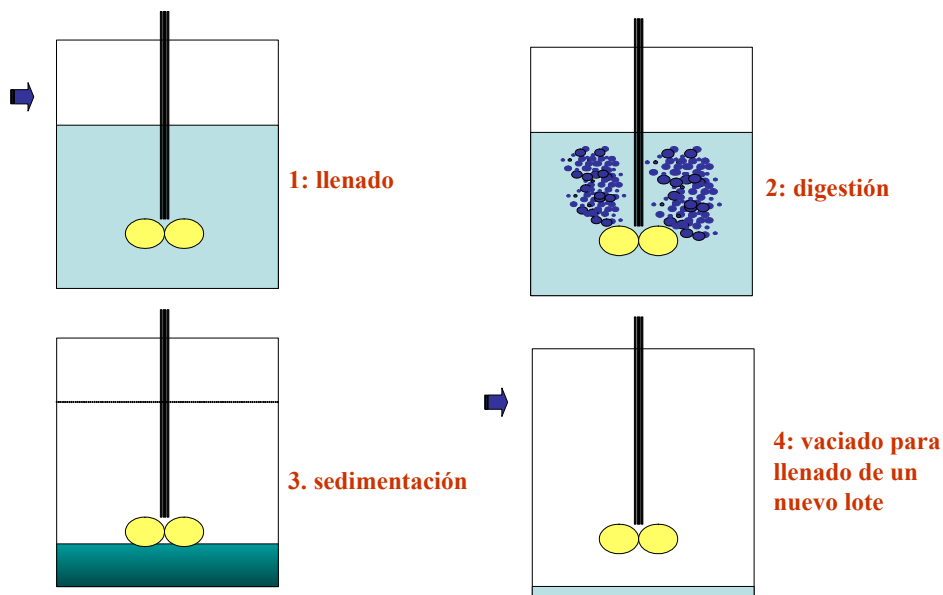


Figura 10: Reactor con patrón de flujo por lotes o flujo interrumpido.

**Tabla I:** Variaciones mas comunes en el proceso de lodos activados y características de los procesos.

<b>Proceso</b>	<b>Modelo de Flujo</b>	<b>Sistema de aireación</b>	<b>% eficiencia en remoción de DBO</b>	<b>Comentarios</b>
Convencional	Pistón	Difusores de Burbuja o aireadores Superficiales	85-95%	Muy adecuado para aguas domésticas de bajo contenido de DBO. El proceso es afectado por cargas de aguas con tóxicos.
Mezclado Completo	Flujo continuo en tanque con agitación	Difusores de Burbuja o aireadores Superficiales	85-95%	Se aplica en diferentes tipos de aguas. Resiste el impacto de cargas de aguas con tóxicos, pero es susceptible de originar bacterias filamentosas.
Aireación por Pasos	Pistón	Difusores de Burbuja	85-95%	Amplio rango de aplicación
Aireación Modificada	Pistón	Difusores de Burbuja	60-75%	Se emplea cuando se debe dar un tratamiento intermedio al agua y no es objetable la presencia de células en el agua tratada.
Aireación Extendida	Pistón	Difusores de Burbuja o aireadores Superficiales	75-95%	Se usa para pequeñas comunidades, en plantas paquete y donde se requiere un efluente bien nitrificado. El proceso es muy flexible.
Aireación de Alta Velocidad	Flujo continuo en tanque con agitación	aireadores Mecánicos	75-90%	Aplicaciones generales, con aireadores de turbina, donde es importante controlar el tamaño del floculo producido.
Proceso con Oxígeno Puro	Flujo continuo en tanque con agitación	aireadores Mecánicos	85-95%	Se emplea para aguas con muy alto contenido de material orgánico, para aguas industriales o cuando el espacio disponible es limitado.
Diques de Oxidación	Pistón	aireadores Mecánicos del tipo cepillo	75-95%	Se usa en pequeñas comunidades y en lugares donde el área disponible es de gran tamaño. El proceso es flexible.
Reactor Intermitente	Flujo intermitente en tanque con agitación	Difusores de Burbuja o aireadores Superficiales	85-95%	Se usa en pequeñas comunidades donde el espacio disponible es limitado. Se puede remover nitrógeno y fósforo.

**Tabla II:** Parámetros de caracterización de los procesos de lodos de lodos activados en sus variaciones mas comunes.

<i>Tipo de Proceso</i>	<i>E</i>	$\theta_c$	$\theta$	<i>F/M</i>	<i>CVA</i>	<i>X</i>	$Q_r/Q_o$
Convencional	85-95	5-15	4-8	0.2-0.4	0.3-0.6	1500-3000	0.25-0.5
Aireación Escalonada	85-95	5-15	4-8	0.2-0.4	0.3-0.6	1500-3000	0.25-0.5
Reactor de Mezclado Total	85-95	5-15	3-5	0.2-0.6	0.8-2.0	3000-6000	0.25-1.0
Aireación por Pasos	85-95	5-15	3-5	0.2-0.4	0.6-1.0	2000-3500	0.225-0.75
Aireación Modificada	60-75	0.2-0.5	1.5-3.0	1.5-5.0	1.2-2.4	200-500	0.05-0.15
Aireación Extendida	75-95	20-30	18-36	0.05-0.15	0.1-0.4	3000-6000	0.75-1.5
Aireación de Alta Eficiencia	75-90	5-10	0.5-2	0.4-1.5	1.0-1.6	4000-10000	1.0-5.0
Oxígeno Puro	85-95	8-20	1-3	0.25-1.0	1.6-3.3	6000-8000	0.25-0.50

E=Eficiencia en remoción de DBO %

 $\theta_c$  Tiempo de retención de las células días $\theta$ =Tiempo de Retención en el reactor (hrs)

F/M Kg DBO/día/Kg Biomasa

CVA=Carga Volumétrica Aplicada Kg DBO/día/mt<sup>3</sup>

X=Concentración de Biomasa/Unidad de Volumen de Digestor

 $Q_r/Q_o$ =Relación de recirculación de lodos