

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En la siguiente tabla se muestra información general acerca de los sistemas de tratamiento de agua residuales existentes en la actualidad:

En El Salvador en el ambiente de tratamiento de aguas residuales ordinarias, municipales y de alcantarillado se usan comúnmente las siguientes tecnologías:

- Línea de agua: Pretratamiento + Tanque Imhoff o Sedimentación Primaria + Filtro Percolador + Sedimentación Secundaria + Desinfección con cloro. Línea de lodos: Digestión anaerobia + patios de secado.
- Línea de agua: Pretratamiento + RAFA + Filtro Percolador + Sedimentación Secundaria + Desinfección con cloro. Línea de lodos: patios de secado.
- Línea de agua: Pretratamiento + Laguna Anaerobia + Laguna Facultativa + Laguna de Maduración. Línea de lodos: patios de secado.
- Línea de agua: Pretratamiento + Tratamiento biológico de lodos activados + Sedimentación Secundaria + Desinfección con cloro. Línea de lodos: patios de secado.

La tecnología con mayor implantación en el país para aguas residuales urbanas son los Filtros Percoladores, con un tratamiento primario como primera etapa y una sedimentación secundaria después del filtro. La práctica totalidad de ellos son rectangulares, de gravedad, de distribución fija mediante canaletas, sin recirculación y utilizan como material de relleno piedra volcánica.

El segundo tratamiento en implantación es el de Lodos Activos, en su variante de aireación extendida que ha sido muy utilizado en urbanizaciones que no podían verter sus aguas residuales a colectores existentes. A un nivel similar, en cuanto a número de plantas, se encuentran los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA), generalmente seguidos de Filtros Percoladores o de Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA).

El Lagunaje está poco extendido en El Salvador, debido a la difícil orografía del país y la dificultad de encontrar terrenos suficientes para su aplicación. La línea más común es la de lagunas facultativas y de maduración en serie.

En cuanto al tratamiento de aguas residuales industriales depende del tipo de industria ya que son cargas orgánicas e hidráulicas muy diferentes de las aguas residuales urbanas. Por ello en sus sistemas de tratamiento hacen uso de tecnologías de mayor grado de remoción como por ejemplo lodos activados con tratamientos avanzados como contacto con ozono, ósmosis inversa, coagulación-floculación, etc.

Clasificación	Tratamiento	Descripción
<i>Pretratamiento</i>	Desbaste o cribado	Se emplea para remover el material grueso, generalmente basura flotante o en suspensión, contenida en las aguas residuales crudas que pueden obstruir o dañar bombas, tuberías y equipos de las plantas de tratamiento o interferir con la buena operación de los procesos de tratamiento. Existen rejas (hasta 15 cm de paso), rejillas gruesas (6 mm a 2.5 cm de apertura), rejillas finas (1.5 a 6 mm de apertura) y muy finas (0.2 a 1.5 mm de aperturas) de limpieza manual o automática. Las rejillas de limpieza manual tienen inclinaciones de 45 a 60. Las rejillas de limpieza automática varían de 75 a 90° entre las que se encuentran: de rastrillos múltiples, tipo escalera, de banda, de tambor, tipo tornillo, estáticas, etc.
	Desarenado	Remueve gravillas, arenas, cenizas y otros materiales inorgánicos presentes en las aguas residuales, que pueden causar abrasión o desgaste excesivo en los equipos mecánicos de una PTAR. Existen diferentes tipos de desarenador: de flujo horizontal (puede ser rectangular o cuadrado en donde la velocidad es controlada por las dimensiones de la unidad, una buena distribución del afluente y un vertedor de control en el extremo efluente), aireado (consiste en un tanque de aireación en espiral donde la velocidad de flujo en espiral es inducida y controlada por las dimensiones del tanque y la cantidad de aire suministrado), y de vórtice (consiste en tanque cilíndrico en el que el flujo entra tangencialmente creando un patrón de flujo en vórtice).
	Canaleta Parshall o vertedero sutro	La canaleta Parshall consiste en una depresión en el centro del canal con posterior ensanchamiento. Debido al paso del agua a través de la depresión se forma un resalto hidráulico, como la garganta es constante con la medida de calado se conoce el caudal. Los vertederos sutros o proporcionales regulan el tirante en desarenadores, teniendo una sección transversal rectangular proporcionando una velocidad constante, pudiendo obtenerse indirectamente con una ecuación el caudal.
	Desengrasado	Consiste en tanques pequeños de flotación donde la grasa sube a la superficie, y es retenida mientras el agua sale por una descarga inferior. Pueden ser diseñadas con secciones rectangulares, circulares o cuadradas. Con un correcto diseño los desengrasadores pueden conseguir del 60% al 70% de eliminación de grasas. Así también este proceso de tratamiento puede ser incluido en la misma unidad de sedimentación primaria como por ejemplo los sedimentadores tipo Dortmund, o también los sistemas DAF (flotación por aire disuelto) que son más modernos.
	Tanque de homogeneización o equalización	Elimina o reduce las cargas de choque, que diluyen las sustancias inhibidoras y se consigue estabilidad del pH. Es un tanque ubicado en la entrada de la planta para tener caudal y cargas de sólidos constantes al proceso de tratamiento.
<i>Tratamiento primario</i>	Fosas Sépticas	Son depósitos en donde el material sedimentable que contienen las aguas residuales decanta, produciendo un líquido libre de sedimentos, que puede infiltrarse con facilidad en el subsuelo luego

		<p>hacerse pasar por alguna unidad de postratamiento (pozos de absorción, zanjas de infiltración y zanjas de arena filtrante).</p> <p>Su uso se ha limitado a tratar las aguas de desecho de casas, escuelas, etc; generalmente, en zonas rurales o bien en áreas urbanas en donde no existe el servicio de alcantarillado.</p>
	Tanque Imhoff	<p>Tiene por lo general una forma rectangular con una tolva en la parte inferior, y está integrado por una cámara superior que recibe el agua residual y que tiene la función de separar los sólidos de rápida sedimentación. Este material pasa a la cámara inferior a través de una apertura conformada por mamparas de concreto donde será sedimentada y digerida en forma semejante a lo que sucede en una fosa séptica.</p>
	Sedimentación Primaria	<p>Elimina una gran cantidad de sólidos suspendidos y materiales flotantes del afluente, pudiendo alcanzar hasta el 90% de los sólidos sedimentables, del 40% al 60% de los sólidos en suspensión y del 20% al 40% de la demanda bioquímica de oxígeno entrante al sedimentador. Los sólidos suspendidos o coloidales pueden pegarse o aglomerarse en partícula conocida como flóculos o pueden absorberse sobre sólidos existentes o sobre material sedimentable, y también se depositan en el fondo. Éstos pueden clasificarse según el propósito (primario o secundario), método de limpieza (manual, mecánico, presión hidrostática), forma (rectangular o circular), según su carga superficial (flujo horizontal, vertical, radial y longitudinal), etc.</p>
	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)	<p>Se trata de un tanque circular o rectangular que puede estar completamente tapada con flujo ascendente. De manera que la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular, nitratos y sulfatos es convertida a metano y dióxido de carbono.</p> <p>Se basa en la formación de una cama de lodos (biomasa anaerobia granular o floculada) localizada en el fondo del reactor con un volumen aproximada de 1/3 el volumen total de éste, esto incrementa considerablemente el tiempo de retención celular.</p>
	Coagulación-floculación	<p>En la coagulación se altera la carga eléctrica de las partículas suspendidas, lo que inicia una aglomeración de partículas debido a la neutralización de cargas. En este proceso se empieza a formar los flóculos, sin embargo, estos necesitan mayor tamaño para poder sedimentar por lo que se utiliza la floculación a través de la adición de un polímero que permite que estos flocs formados se aglomeren en partículas más grandes. La coagulación sucede en condiciones de mezcla rápida y la floculación en mezcla lenta. Como coagulantes se usan, por ejemplo: sulfato de aluminio, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloruro férrico, etc. Y como floculantes se utilizan polímeros de alto peso molecular.</p>
<i>Tratamiento secundario</i>	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)	<p>Es un reactor biológico de lecho fijo con una o más cámaras de filtración en serie. A medida que las aguas residuales fluyen a través del filtro, las partículas quedan atrapadas y la materia orgánica se degrada por la biomasa activa que está adherida a la superficie del material del filtro.</p>

<p>Filtros Percoladores</p>	<p>Es un proceso que pone en contacto a las aguas residuales con microorganismos adheridos en forma de biopelícula a un empaque, suficientemente espaciado para que circule el aire en forma natural. Esto conlleva al no uso de sistemas de aireación que consuman energía y es posible obtener eficacias de remoción del orden del 70% a 85%. Se clasifican por su carga hidráulica o por su carga orgánica en: baja carga (normalmente no requieren recirculación entre 1-4 m³/m³*día), alta carga (la recirculación permite la aplicación de alta cargas orgánicas, 10-40 m³/m²*día), súper alta carga (aceptan cargas orgánicas e hidráulicas mayores debido a la mayor profundidad del medio filtrante, entre 40-200 m³/m²*día). También los filtros percoladores pueden ser circulares o rectangulares de una o dos etapas.</p>
<p>Lodos Activados (convencional, aireación extendida, zanjas de oxidación, etc)</p>	<p>Es un tratamiento que requiere agitación y aireación de una mezcla de agua residual y un lodo de microorganismos en el que los sólidos se remueven y recirculen al proceso de aireación; el aire atmosférico se mezcla con el líquido por agitación mecánica o se difunde aire comprimido dentro del fluido mediante diversos dispositivos: placas filtrantes, tubos de filtro, eyectores, difusores y chorros. Existen diferentes modificaciones que ha resultado con el pasar del tiempo respecto a los lodos activados: convencional, mezcla completa, aireación con alimentación escalonada, aireación extendida, zanjas de oxidación, etc.</p> <p>El proceso convencional se utiliza para aguas domésticas de baja concentración, generalmente utilizada en poblaciones arriba de los 100,000 hab. Se caracteriza por poseer sedimentación primaria, tanque de aireación, y sedimentación secundaria en donde se recircula parte de lodos activos a tanque de aireación. La aireación extendida emplea altos tiempos de retención hidráulica y altas concentraciones de lodos activados sin una sedimentación primaria previa. La aplicabilidad de este proceso se limita generalmente a plantas pequeñas de poblaciones menores a los 20,000 hab.</p>
<p>Reactores Discontinuos Secuenciales (SBR)</p>	<p>Procesa las aguas residuales por medio de un tratamiento biológico aeróbico-anóxico, basado en la generación de lodos activados por medio de aireación y disminución de nutrientes en etapa anóxica. Consta de al menos cuatro procesos cíclicos: llenado, reacción, decantación y vaciado, tanto de efluente como de lodos.</p>
<p>Lagunas de estabilización (anaerobias, facultativas, y de maduración)</p>	<p>Las lagunas de estabilización pueden ser: lagunas anaeróbicas, facultativas y de maduración.</p> <p>Las lagunas anaerobias son relativamente profundas (hasta 6 m) con taludes de bordos muy fuertes. El exceso de grasa no digerida flota formando un cobertor que evita que el calor se pierda y que entre aire. Se remueve hasta alrededor del 70% de los sólidos suspendidos. Tiene un tiempo de retención entre 1 a 5 días.</p> <p>Las lagunas facultativas tienen una zona aerobia en el estrato superior, donde existe la simbiosis entre algas y bacterias, y una zona anaeróbica en el fondo. Su tiempo de retención suele andar entre 5 a 30 días.</p>

		En el caso de las lagunas de maduración son prácticamente aeróbicas, en donde se provee un período de retención hidráulica adicional para la remoción de patógenos y mejorar la calidad del efluente en términos de DBO. Su profundidad se encuentra entre 1 y 2 m y se utilizan mamparas para simular un flujo de tipo pistón.
	Biorreactor de lecho móvil (MBBR)	Constan de portadores de bacterias en suspendidos que aumentan drásticamente el área de contacto entre la carga a oxidar y los microorganismos, esto permite emplear volúmenes mucho menores en comparación con lodos activados. Por lo que se da un crecimiento de la biomasa en los portadores plásticos que se mueven en el reactor mediante la agitación generada por sistemas de aireación. Se consigue una reducción en los costos de aireación, menor producción de lodos gracias al lento crecimiento de las bacterias, menor espacio de implantación, robustez frente a toxicidad o variaciones.
	Reactor Biológico con membranas (MBR)	Es un sistema compacto que se integra al acoplar un tanque de aireación completamente mezclado con un módulo de membranas de micro o ultrafiltración. Estos módulos pueden ser externos al reactor o bien sumergidos en el mismo tanque. Este tipo de tecnología presenta ventajas como un tamaño compacto, barrera para la retención de sólidos y microorganismos, alta calidad de efluente, menor producción de lodos en comparación con otros sistemas aerobios, remoción de compuestos orgánicos tóxicos y recalcitrantes, entre otras.
	Contactores Biológicos Rotativos	Consiste en un empaque circular giratorio de plástico o de algún otro material, en el cual se encuentra la biomasa adherida. El disco gira sobre su eje lentamente con un 40% de su superficie sumergida en el agua residual, mientras que el resto entra en contacto con el aire, es decir, la biopelícula interacciona con el aire y el agua en forma sucesiva. Presenta menor consumo de energía, buen comportamiento ante la presencia de tóxicos, y facilidad de construcción gradual.
	Sedimentador secundario	Separa la biomasa formada en el proceso biológico anterior. Posee características muy similares que el sedimentador primario, con la diferencia que se diseña con unos parámetros de diseño un poco distintos al primario dependiendo el tipo de tecnología de tratamiento biológico que se tiene.
<i>Tratamiento terciario o avanzado</i>	Cloración	Se puede realizar con cloro gas (Cl ₂), hipoclorito de sodio (NaOCl) o hipoclorito de calcio (Ca(OCl) ₂). El cloro se combina con el agua para formar ácido hipocloroso (HClO) y ácido clorhídrico (HCl), son estos productos los que destruyen los organismos patógenos presentes en el agua residual. De esta manera se puede prevenir la proliferación de enfermedades, el control de crecimiento de algas y producción de olores.
	Ablandamiento	Remueve iones de calcio y magnesio que son los principales causantes de la dureza en el agua. La dureza total es la suma de la dureza carbonatada (bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio) y no carbonatada (sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio). Se puede realizar un ablandamiento al agua utilizando cal y sosa cáustica en un tanque de mezcla.

		También se utiliza el intercambio iónico, en donde el agua se hace pasar a través de una cama de resina donde son intercambiados los iones. Cuando se satura el lecho con el ion intercambiado, es parada su operación y es regenerada mediante el paso de una solución concentrada de sodio a través del lecho.
	Filtración convencional (por gravedad y a presión)	Se hace pasar el flujo de agua a través de un medio poroso, removiendo los sólidos en suspensión o coloidal y dejando pasar el líquido. El medio poroso puede estar constituido por un lecho simple (arena), lecho doble o múltiple (arena, antracita y grava), tierra diatomácea, carbón activado, etc. Así también el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante.
	Filtración por membranas (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa)	<p>Cuando se requiere separar partículas de mayor fineza se requiere la filtración por membranas. Las membranas de microfiltración separan partículas de tamaño entre 0.1 micras a 10 micras (baterías, polvo de carbón muy fino, amianto, etc.), las de ultrafiltración retienen partículas entre 1 nm y 100 nm (virus, coloides, macroproteínas, endotoxinas, etc.), las de nanofiltración separan partículas disueltas entre 0.1 nm y 1 nm (azúcares, proteínas, moléculas de colorante, etc.).</p> <p>La ósmosis inversa se basa en el equilibrio que se establece a ambos lados de una membrana semipermeable que separa dos volúmenes de líquido con diferente concentración salina. El solvente difunde a través de la membrana y la atraviesa, mientras que los iones disueltos no pueden hacerlo. Se eliminan en su totalidad o casi, nitratos, pesticidas, bacterias, virus, microbios, amianto, herbicidas, cal, mercurio, plomo y otros metales pesados, así como todo lo que está disuelto.</p>
	Precipitación química	Elimina los metales (iónicos) de las soluciones que contienen metales tóxicos. Las sustancias disueltas se transforman en sólidos mediante una reacción química. Esto se logra mediante la adición de un precipitante en conjunto con coagulación-floculación.
Procesos de oxidación avanzada (POA)		
	Contacto del ozono	Entra en contacto ozono (O ₃) con el agua a tratar, dispersándose de la manera más fina posible. Es una técnica de oxidación química con aplicaciones como: desinfección, oxidación de microcontaminantes orgánicos recalcitrantes (fármacos, pesticidas, entre otros), oxidación de contaminantes inorgánicos (hierro, manganeso y sulfitos), eliminación del color, potabilización de aguas y depuración de aguas residuales.
	Desinfección con luz ultravioleta	La radiación ultravioleta es un bactericida y eliminador de virus muy efectivo que no forma subproductos tóxicos. La máxima acción germicida ocurre en el rango de 220-320 nm.
	Reactivo de Fenton	Es un proceso que sucede un medio ácido (pH 2.5-4), utilizando peróxido de hidrógeno como reactivo además de una sal ferrosa como catalizador. Se necesita posterior al tanque en donde sucede la oxidación, un tanque de neutralización y otro de floculación.

<i>Tratamiento de lodos</i>	Espesador de lodos (por gravedad y por flotación)	<p>Se utiliza para incrementar el contenido de sólidos de los lodos removiendo una parte de la fracción líquida. El espesamiento generalmente se logra por medios físicos, incluye la sedimentación por gravedad, la flotación, la centrifugación, tambor rotatorio.</p> <p>El espesador por gravedad consiste en un tanque similar en diseño al sedimentador convencional. Normalmente se usa un tanque circular, siendo alimentado en la parte central. De esta manera el lodo sedimenta y se compacta, extrayéndose en el fondo cónico del tanque.</p> <p>La flotación se emplea para separar sólidos de baja densidad introduciendo un gas (normalmente aire) en la fase líquida en forma de burbujas. Los tipos de flotación son: por aire disuelto (los sistemas DAF son empleados, en el que el aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, y a continuación se libera la presión hasta alcanzar la presión atmosférica; siendo principalmente usados con aguas con alto contenido de grasas y en el espesamiento de lodos), y por aireación (las burbujas de aire se introducen directamente en la fase líquida por medio de difusores o turbinas sumergidas).</p>
	Digestor de lodos (aerobio y anaerobio)	<p>La digestión aerobia se utiliza generalmente para plantas con una capacidad relativamente baja. La estabilización de lodos se logra a través de la respiración endógena, en donde los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma para obtener la energía necesaria para las reacciones de mantenimiento celular.</p> <p>La digestión anaerobia se desarrolla en un reactor completamente cerrado, donde se introducen los lodos permaneciendo dentro del reactor por tiempos considerables. El lodo estabilizado, extraído del reactor tiene una concentración reducida de materia orgánica y agentes patógenos vivos. Así también se genera metano, dióxido de carbono, pequeñas cantidades de nitrógeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, entre otros.</p>
	Deshidratación de lodos	<p>El proceso de deshidratación consiste en reducir el porcentaje de humedad presente en los lodos, se alcanzan generalmente de 20% a 30% de concentración de sólidos, para un almacenamiento, reúso o disposición final adecuado. Entre los procesos utilizados para este fin se encuentran: patios de secado, filtros banda, filtro prensa, filtro prensa, centrifugación, etc.</p> <p>Los patios de secado eliminación una cantidad de agua suficiente de los lodos a través de la radiación solar para que puedan ser manejados como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70%. Suelen estar formado por capas de arena y grava de diferentes tamaños de grano.</p> <p>Así también hay equipos mecánicos que se encargan de la deshidratación. Los filtros banda son dispositivos de deshidratación de alimentación continua que utilizan los principios de drenaje por gravedad y presión aplicada mecánicamente para deshidratar lodos o biosólidos condicionados químicamente. El tornillo prensa es una unidad cilíndrica cerrada de velocidad lenta, estando los lodos típicamente acondicionados con polímero catiónico que es inyectado en la corriente de alimentación.</p>