

TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES

4.0 ESTRUCTURACIÓN DE UN SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES:

Los modernos sistemas de tratamiento y disposición de aguas de desecho en las ciudades tienen tres componentes: colección, tratamiento y disposición.

La colección de las aguas se efectúa a través de un complejo sistema de tuberías, que conducen estas aguas a una planta de tratamiento. Este sistema de colección se llama drenaje, y a través de él fluyen las aguas que escurren por las calles de la ciudad, las que se producen por la actividad casera diaria normal de los habitantes de la ciudad, así como por las industrias y por las empresas prestadoras de servicios como pueden ser: hoteles, hospitales, restaurantes, oficinas, talleres, etc. También, cuando llueve, el agua llega al sistema de drenaje a través de alcantarillas dispuestas para este fin, y se suman a las aguas anteriormente descritas.

Las aguas que por su origen se clasifican como:

i).-Aguas Domésticas

ii).-Industriales

iii).-Pluviales

iv).-Municipales

Todos estos tipos de aguas residuales tienen características muy propias. Las aguas domésticas, pluviales y municipales son de composición más o menos conocida y constante, sin embargo las aguas de origen industrial son muy heterogéneas y la composición así como la naturaleza de las sustancias que acompañan el agua dependen completamente del o los procesos de transformación de la industria que desecha esas aguas.

Cuando esto ocurre, la municipalidad o la empresa que da tratamiento a las aguas de desecho, exigen a la fábrica o industria que den un tratamiento previo a sus aguas residuales, cuando las sustancias que éstas contienen dañen o interfieran con el proceso de depuración en la planta de tratamiento.

PLANTAS DE TRATAMIENTO: En la actualidad, en prácticamente todas las ciudades de los países civilizados con un nivel aceptable de calidad de vida, existen sistemas para depurar las aguas de desecho. Los objetivos principales de implementar tales sistemas son:

➤La prevención de la contaminación física, química y bacteriológica del medio ambiente así como de los recursos hidrológicos.

➤El empleo de las aguas residuales, una vez tratadas y depuradas, en sustitución de las aguas potables disponibles para fines tales como: riego de jardines, creación de áreas verdes, etc.

DEFINICIÓN DE AGUA PURA Y POTABLE: El agua pura consiste de la unión de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. El agua pura como tal no es fácilmente accesible, ya que ésta tiende a reaccionar físicamente y químicamente con todas las sustancias que están en su contacto.

Cuando en las nubes se forman las gotas de agua por condensación y estas se precipitan como lluvia, podemos considerar que el agua inicialmente tiene un alto grado de pureza. Durante su caída se mezcla y absorbe los gases atmosféricos, principalmente nitrógeno, oxígeno y bióxido de carbono CO_2 . Cuando alcanza la superficie de la tierra, inmediatamente empieza a disolver las sustancias con las que está en contacto y de esta manera pasan a solución sales de sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, etc. En un agua "natural" se encuentran disueltas diferentes especies químicas, las cuales pueden tener carga positiva o negativa. A las partículas cargadas positivamente se les llama cationes y a las que tienen carga negativa se les llama aniones. Entre estas partículas cargadas eléctricamente tenemos:

CATIONES:

Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Sr^{+2} , Fe^{+3} , Cu^{+2} , Zn^{+2}

ANIONES:

Cl^- , I^- , Br^- , CO_3^{-2} , HCO_3^- , SO_4^{-2}

En el agua, las cargas positivas de los cationes deben estar equilibradas con las cargas negativas de los aniones, aunque desde luego, la composición de los cationes y aniones puede ser variable.

La presencia de estas sales es la que le confiere características muy especiales al agua. Si la cantidad de sales de calcio y magnesio es muy alta, se dice que el agua es "dura". La presencia de cantidades relativamente altas de fierro y manganeso provoca que sobre la ropa se depositen precipitados de fierro y manganeso que la manchan irreversiblemente. Un agua con gran cantidad de sulfatos tiene efectos laxantes en usuarios no acostumbrados a esa agua. El equilibrio adecuado de los diferentes componentes del agua hace que ésta sea o no agradable al paladar del consumidor cuando ésta se consume como agua potable.

Cuando el agua se evapora, queda un residuo de sales; esta masa residual son los sólidos disueltos. Para usos normales no es deseable un contenido excesivo de estas sales sobre todo las de calcio y magnesio, ya que éstas tienden a depositarse en líneas y accesorios que tienen contacto con el agua.

Desde el punto de vista sanitario, la presencia de sales en el agua no es objetable y se considera a éstas como concomitantes del agua, definiendo concomitante como "sustancia que se encuentra presente en forma natural, en cantidades tolerables, y que no tiene efectos tóxicos o dañinos en los organismos, ni a corto ni a largo plazo". Un contaminante por el contrario lo definiremos como: "sustancia que se encuentra presente en el agua, que puede o no ser detectada y rechazada por el consumidor, y que se presume o se tienen evidencias directas de su daño en el hombre, flora y fauna".

AGUAS RESIDUALES: Considérese las aguas de desecho o residuales como un todo. Su origen y los posibles contaminantes solubles de cada una de las fuentes son:

Aguas Residuales Domésticas: grasas, aceites, jabones, detergentes, partículas sólidas, materia orgánica, residuos de alimentos, etc.

Aguas Municipales y Pluviales: aceites automotrices, residuos de alimentos, solventes químicos, etc.

Aguas Industriales: grasas, aceites, jabones, aceites, solventes químicos, diferentes materiales orgánicos, metales pesados y metales tóxicos, etc.

Las aguas residuales por lo tanto, se puede considerar que se encuentran con un alto contenido de sustancias que se pueden considerar contaminantes. Este tipo de contaminación es de tipo químico, físico y bacteriológico.

EFFECTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL MEDIO AMBIENTE Y FORMACIÓN DE AGUAS NEGRAS: Los efectos inmediatos que causan las aguas residuales no tratadas, son la contaminación del medio ambiente y el patrimonio acuífero de la sociedad.

Cuando estas aguas salen finalmente de la línea de drenaje, forman depósitos de fango el cual sedimenta en el fondo del cuerpo receptor. También se forman natas y/o espumas sobre la superficie de las aguas residuales.

Muchos de los organismos acuáticos requieren del oxígeno para vivir. Entre estos se encuentran los peces y otras plantas acuáticas. La máxima cantidad de oxígeno que el agua puede contener es de aproximadamente 10 ppm (menos de 0.001%) y normalmente la cantidad de oxígeno que contienen las aguas naturales es alrededor de 1 a 2 ppm. Este oxígeno es el que plantas y peces respiran. El oxígeno consumido es repuesto parcialmente por el oxígeno atmosférico que se disuelve en el agua. Este equilibrio en los ecosistemas acuáticos, existe y ha existido en aguas naturales en las cuales no hay apreciable grado de contaminación. Si en éste ecosistema se vierten aguas residuales no tratadas, la carga orgánica es muy alta y se favorece la proliferación de bacterias que consumen esta materia orgánica. Inicialmente las bacterias que consumen la materia orgánica como alimento son las bacterias aeróbicas. Estas bacterias requieren de oxígeno para sobrevivir, por lo que lo toman del oxígeno disponible disuelto en el agua, y entran en competencia por este elemento con la flora y fauna natural del depósito acuático que también lo requiere.

Si se siguen vertiendo aguas de desecho sin tratamiento, se sigue incrementando la carga orgánica del depósito acuático y proliferan aún más las bacterias aeróbicas, las cuales consumen el oxígeno disuelto con mayor eficiencia que los peces y las plantas acuáticas, y éstos empiezan a disminuir en número y finalmente mueren por carencia de oxígeno.

Si la rapidez de consumo del oxígeno disuelto es mucho mayor a la rapidez de reposición del oxígeno, lo cual ocurre en aguas estancadas, se favorece el desarrollo y multiplicación de otro tipo de bacterias, las bacterias anaerobias.

A estas bacterias anaerobias se les llama así porque su medio de desarrollo y crecimiento es en ambientes donde no hay presencia de oxígeno. Las bacterias anaerobias también consumen la materia orgánica presente en las aguas residuales, pero las sustancias producidas son sumamente desagradables. En condiciones

anaerobias las aguas adquieren un color negro, y los gases que se forman despiden olores sumamente ofensivos y desagradables.

La disposición de las aguas residuales sin tratamiento, provoca no únicamente la pérdida de ecosistemas que son benéficos al hombre, sino que sus efectos se revierten en su contra, afectando su bienestar y poniendo en peligro su salud.

No únicamente la presencia de materia orgánica provoca daños al medio ambiente. Otros componentes que frecuentemente se encuentran en las aguas residuales en cantidades apreciables son el nitrógeno y el fósforo. La presencia de estos elementos en cantidades excesivas origina lo que se llama eutroficación.



La eutroficación o crecimiento incontrolado de algas, causa un desequilibrio ecológico en lagos, lagunas y estanques que conducen finalmente a la muerte de peces y otras especies. La contaminación de estos acuiferos por la incorporación de aguas residuales con grandes cantidades de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y DBO es la principal causa de la eutroficación.

Figura 1: Eutroficación: crecimiento de organismos autotróficos por exceso de nutrientes y daños a las otras especies que se encuentran en el mismo nicho ecológico.

Por eutroficación se entiende el crecimiento desmedido e incontrolado de organismos acuáticos vegetales en: ríos, lagos, estuarios, etc. Este crecimiento desmedido se debe a una disponibilidad excesiva de nutrientes, esencialmente materia orgánica, fósforo y nitrógeno. Aunque todos los organismos disponen de suficiente material base para su crecimiento y reproducción, las algas y plantas acuáticas ----como por ejemplo el lirio acuático---- son las que con mayor facilidad aprovechan este exceso de nutrientes.

Consideremos un recipiente acuático que sostiene vida en un cierto equilibrio ecológico. Los peces se alimentan del plancton (organismos animales y vegetales de tamaño minúsculo que se encuentran en suspensión en el lecho acuoso), el cual a su vez toma el nitrógeno y el fósforo necesario para su crecimiento y reproducción, del disponible en el agua. Bajo estas condiciones existe un equilibrio que sostiene la vida en sus diferentes formas.

Cuando este equilibrio es roto, por un exceso de nutrientes por ejemplo, existe un crecimiento excesivo de las algas y plantas acuáticas. Se desarrolla una cantidad muy por encima de la requerida por los organismos que se alimentan de dichas plantas y estas empiezan a invadir el estuario.

En la proliferación de algas y plantas, como estas no son consumidas por otros seres vivos, al morir deben ser degradadas por los microorganismos. Para este proceso de degradación, las bacterias requieren de oxígeno y lo toman del que se encuentra disponible como oxígeno disuelto en el agua del estuario. Cuando esto ocurre disminuye la disponibilidad de oxígeno disuelto, lo que provoca inicialmente la muerte por asfixia de los peces y demás organismos que requieren del oxígeno del agua para su respiración.

En esta situación ocurre lo mismo que cuando hay exceso de materia orgánica, pues una vez que hay carencia de oxígeno se favorece el crecimiento de bacterias anaerobias, lo cual provoca la formación de aguas negras.

Si el crecimiento de algas y plantas acuáticas es invasivo, como ocurre cuando hay exceso de nutrientes, estas no permiten el paso de la luz, lo que es necesario para la reproducción y crecimiento de diferentes formas de vida que se encuentran en las partes bajas del estanque. Como es lógico este efecto empeora aún más los efectos nocivos de la eutroficación.

Por las razones mencionadas, si las aguas se vierten en recipientes donde es probable la eutroficación, es indispensable tener un estricto control en las corrientes de aguas de desecho, para que estas no tengan valores mayores a los máximos permitidos en nitrógeno y fósforo.

OTRAS CONSECUENCIAS DE LAS AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS: Adicionalmente al deterioro ambiental biológico y estético que provocan las aguas no tratadas, también la disposición de las aguas de desecho sin tratamiento afectan la salud de la sociedad.

Desde principios de la civilización y hasta fines del siglo pasado, era común el conocer y padecer de brotes epidémicos que devastaban villas, ciudades y regiones enteras por causa de las enfermedades infecciosas. En la Europa de la época medieval cada año se contaban por miles las muertes producidas por enfermedades de tipo infeccioso originadas por agua contaminada con bacterias. El cólera, la fiebre tifoidea, la hepatitis, la disentería, etc. eran enfermedades comunes a las que estaba expuesta toda la población.

COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS			
Concentración			
Constituyente	Alta	Media	Baja
Sólidos Totales	1200	720	350
Sólidos Disueltos Totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Sólidos Suspendidos Totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	4.5	80
Sólidos Sedimentables ml/L	20	10	5
DBO ₅	400	220	110
DQO	1000	500	250
Nitrógeno Total (N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo Total (P)	15	8	4
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad	200	100	50
Grasa	150	100	50
Nota: Todos los valores son en mg/L ó ppm			

La costumbre de desechos las aguas residuales industriales y domésticas y mezclarlas con las aguas corrientes de los ríos, así como las condiciones generales de insalubridad fueron las principales causas de la diseminación y fácil contagio de enfermedades por medio del agua de beber.

En el transcurso de los años se hizo evidente que existía una clara relación entre agua y enfermedad, por lo que paulatinamente se fueron implementando operaciones con el fin de mejorar la calidad del agua, así como para prevenir su contaminación, evitando que las aguas residuales tuvieran contacto con las aguas potables.

Posteriormente, con los descubrimientos de Pasteur, Cock y otros, se demostró la relación entre enfermedad y bacterias en el agua, y los peligros potenciales de las aguas residuales en contacto con el hombre y con sus recursos acuíferos.

El manejo inadecuado de las aguas residuales en su disposición sin tratamiento, han impedido que en algunos países se hayan desterrado completamente las enfermedades transmitidas por el agua y persisten los casos de cólera, amibiasis, disentería, etc.

Otros peligros potenciales de las aguas residuales no tratadas, es la contaminación del medio ambiente y recursos hidrológicos por sustancias tóxicas que se encuentran en el agua como: metales tóxicos (arsénico, plomo, cadmio, mercurio, cromo, etc.), cianuro, herbicidas y pesticidas. Estas sustancias son removidas en mayor o menor grado durante el proceso de depuración de las aguas residuales, por lo que también desde este punto de vista es deseable el tratamiento de las aguas de desecho.

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES:

Los contaminantes de las aguas residuales son de naturaleza orgánica e inorgánica. Aunque en el sistema de drenaje junto a las aguas residuales se encuentra gran cantidad de materiales de gran tamaño como: padecería de vidrio, latas vacías, garras, llantas, ramas, bolsas y envases de plástico, etc., estos no son considerados como parte integral de las aguas residuales.

En promedio en las aguas residuales (sin considerar la basura que las acompaña), mas de un 99.9% en peso es agua natural y el resto son contaminantes que hacen no apta ésta para su reuso y disposición sin efectos nocivos al cuerpo receptor.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales, precisamente realizan la función de remover en el mayor grado posible estos contaminantes. La remoción no significa la desaparición o extinción de la sustancia indeseable, puesto que la ley de la conservación de la materia es inviolable, sino que "remoción" en este aspecto, significa la conversión del contaminante a sustancias inocuas o menos objetables. También, remoción tiene el sentido de separación física de la masa de fluido, del o los componentes no deseados que se encuentran en las aguas residuales.

Por mucho, la mayor cantidad de sustancias que se encuentran en el agua son residuos de tipo orgánico. Estos residuos se presentan como sólidos y son clasificados, de acuerdo a sus características como: sólidos disueltos, partículas coloidales y sólidos sedimentables.

Si tomamos una muestra de aguas residuales y la evaporamos a sequedad, quedará un residuo final y estos son los sólidos totales. Si otra parte de la misma muestra se filtra a través de una membrana, el filtrado obtenido contiene los sólidos disueltos. Las partículas que quedan en el filtro son una parte sólidos sedimentables y otra parte son partículas coloidales o partículas que no sedimentan.

El tener un previo conocimiento de la distribución de los sólidos, es importante en el diseño y operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

SISTEMAS DE COLECCIÓN: Las aguas residuales a ser tratadas en la planta que tiene este propósito, llegan a través de un sistema de tuberías que colectan dichas aguas. Este sistema es el sistema de drenaje y lo opera el municipio o alguien concesionario de éste.

4.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

De una forma simple y muy general, se pueden describir los siguientes procesos en una planta de tratamiento de aguas residuales:

- 1: Un sistema para retención y remoción de los sólidos y partículas de gran tamaño (basura) que salen del drenaje junto con las aguas residuales.
- 2: Un arenero y preaerador como tratamiento previo a la sedimentación primaria.
- 3: Un sedimentador que separe del fluido principal, las partículas sólidas que se asientan fácilmente (sólidos sedimentables)
- 4: Un sistema biológico y otra serie de procesos auxiliares, necesarios para lograr tener un agua de la calidad deseada.
- 5: Antes de que el efluente sea integrado al medio ambiente se requiere de un paso de desinfección.

4.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

PRETRATAMIENTO: El pretratamiento de las aguas residuales involucra varios procesos que tienen como finalidad, el eliminar del agua todos los materiales de tamaño grande y mediano, que el agua contiene y que arrastra en su camino hacia la línea de drenaje.

El primer paso es la captación del agua que llega a la planta de proceso y el bombeo a la primera etapa de tratamiento. Esta primera etapa es el cribado, y tiene como finalidad remover objetos y partículas de tamaño grueso y que interfieren en las etapas posteriores del tratamiento. Entre estos materiales se encuentran: trozos

de tela, ramas, pedazos de lámina, vidrios, latas, bolsas de plástico, pedazos de madera, trozos de plástico, etc. Estos materiales son retenidos cuando el agua pasa a través de equipos o maquinarias que tienen barras espaciadas entre sí, con un cierto patrón o configuración similar y con el mismo propósito que el de las alcantarillas de los sistemas de drenaje del municipio. Los materiales de gran tamaño son retenidos en estas barras y se deben remover mecánica o manualmente en forma periódica o continua.

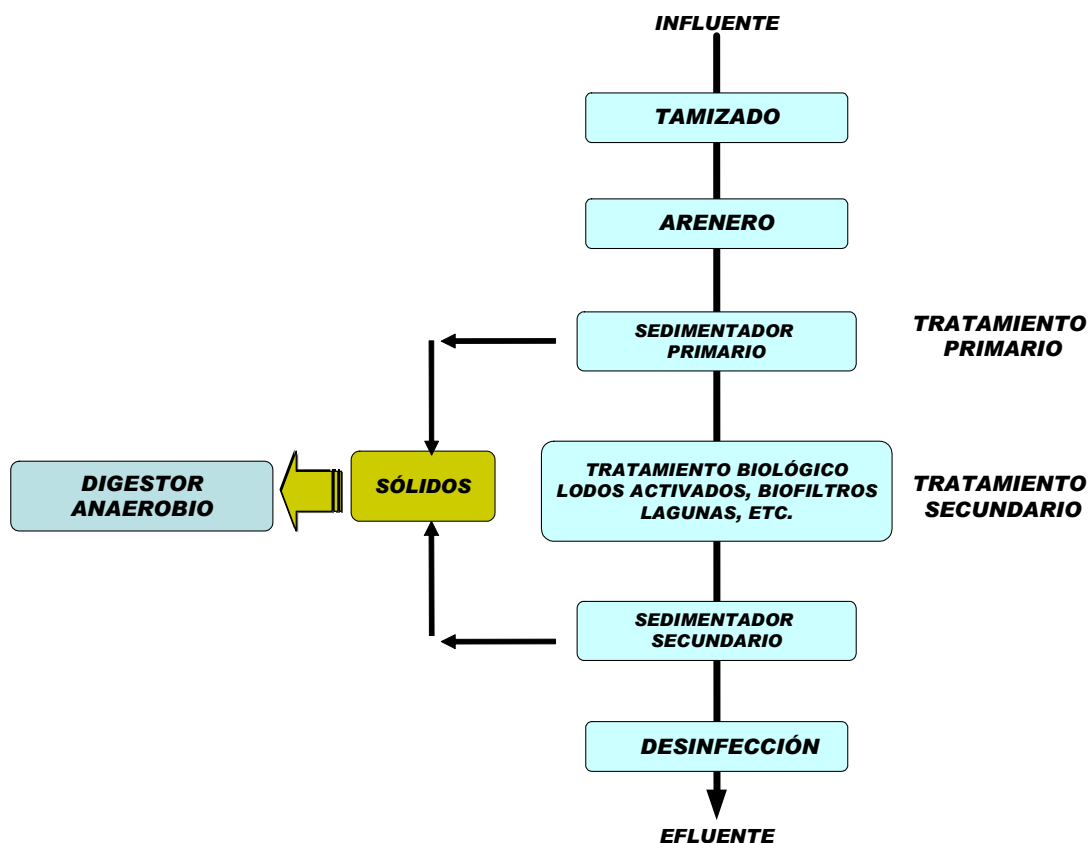


Figura 2: Estructuración de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Después del cribado el agua pasa a un sistema desarenador, donde grava, arena y demás partículas gruesas y de alta densidad sedimentan fácilmente. Este proceso de remoción, además de disminuir la DBO, evita que el sedimentador primario se sobrecargue con partículas pesadas y de gran tamaño. El desarenador consiste generalmente de un canal abierto, en el que el agua fluye a una cierta velocidad (20-40 cm/seg), que permite que las partículas gruesas sedimenten y a la vez evita que las partículas ligeras sean arrastradas por el flujo hacia el sedimentador primario. Este desarenador también puede tener dispositivos como cribas y mallas de diferentes diámetros, para remover en mayor proporción las partículas medianas y de tamaño grande.

En este mismo sistema desarenador se puede inyectar oxígeno, con la finalidad de evitar que en el sistema se presenten las desagradables condiciones sépticas.

Los residuos retenidos en los pasos anteriormente descritos ----rejas y desarenador----, son esencialmente basura, por lo que éstos se juntan, y periódicamente son enviados al mismo lugar en el que la basura es procesada.

El agua que pasa por los desarenadores y accesorios, puede o no, tener un tratamiento de desintegración de la materia orgánica que se encuentra en el agua. Este paso tiene sus convenientes y sus inconvenientes. Por un lado, la desintegración de la materia orgánica, hace ésta mas accesible para los microorganismos que la utilizan, ya que la eficiencia del proceso de digestión aeróbica es mayor cuanto menor sea el tamaño de las

partículas de materia orgánica que sirven como alimento a las bacterias. Como inconveniente, se tiene el hecho de que los desintegradores de materia orgánica son de alto costo de inversión y mantenimiento.

Bombas tipo tornillo que se emplean muy frecuentemente en plantas de tratamiento de aguas residuales, para elevar el agua al primer paso de tratamiento que es la retención y separación de sólidos gruesos en cribas



Figura 3: Bombeo de aguas residuales a la primera etapa de tratamiento por bombas tipo tornillo, con el modelo de Arquímedes.

MEDIDORES DE FLUJO: La medida del gasto de agua que entra a la planta de operación, no es necesariamente parte del tratamiento del agua, pero su importancia es determinante ya que los registros que se llevan de: consumo de reactivos químicos, energía consumida, calidad del efluente, etc., están directamente relacionados con el gasto o flujo de masa del agua procesada. Comúnmente, los medidores de flujo son del tipo Marshall, tipo Venturi y tipo Vertedero.

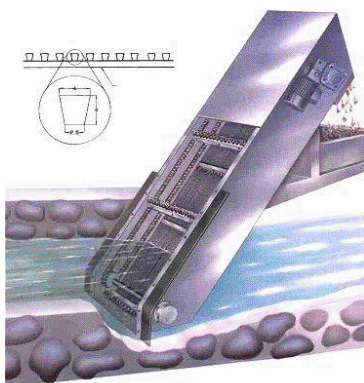
PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: El tratamiento de las aguas residuales, o aguas de desecho, implica una serie de pasos o de operaciones unitarias que son similares a los que se efectúan en el tratamiento o depuración de las aguas naturales que se procesan para su potabilización y consumo como agua salobre.

Procesos tales como: filtración en grava y arena, sedimentación, desinfección, etc., son también efectuados en las aguas residuales. Una diferencia notable en la composición de las aguas naturales comparada con la de las aguas de desecho, es el contenido de materia orgánica presente en éstas últimas.

Después de su empleo en diferentes servicios que se proporcionan a una población o comunidad, lo que principalmente se integra a las aguas naturales es una cierta cantidad de material orgánico. En composición esto representa una pequeña cantidad: en promedio 250 mg/lto, ó sea un 0.025 en porcentaje en peso, sin embargo esto arruina completamente la calidad del agua y no la hace apta para ningún uso, siendo por el contrario, una fuente de infección y enfermedades, ya que el material orgánico contenido en las aguas es caldo de cultivo de numerosas bacterias, muchas de ellas patógenas.

Afortunadamente este material orgánico es biodegradable y muy asimilable por otros microorganismos que lo emplean en su provecho, y al metabolizarlo lo convierten en células ó biomasa adicional y en otras sustancias mas simples químicamente hablando, que ya no son de carácter repulsivo y putrefacto.

Adicionalmente al material orgánico digerible, las aguas de desecho domésticas contienen otras sustancias que no son asimilables por los microorganismos como son: jabones y detergentes sintéticos, aceites y grasas vegetales y animales, además de otros componentes que irresponsablemente se viertan en los sistemas de drenaje domésticos como pueden ser: solventes de pinturas, combustibles, aceites lubricantes, solventes industriales, etc.



Cribas empleadas como primer paso de tratamiento para la separación y retención de sólidos gruesos para un posterior paso en un desarenador.



Figura 3: Remoción de sólidos gruesos por cribado.

Las aguas municipales, o sea las que se generan por precipitación pluvial y por servicios del municipio, así como las aguas industriales, contienen además de los compuestos y sustancias anteriormente mencionadas, otros mas como pueden ser: metales tóxicos, sólidos suspendidos, grava y arena, solventes industriales, compuestos químicos orgánicos e inorgánicos de origen industrial, etc.

Si la cantidad de sustancias tóxicas y no biodegradables no es muy grande, el material orgánico puede ser degradado y la mayor parte de estos contaminantes no biodegradables se separan del agua tratada en alguno de los pasos de tratamiento, integrándose casi siempre a los lodos producidos en las plantas depuradoras de aguas residuales.

En teoría, todas las aguas residuales pueden ser tratadas hasta alcanzar el grado de potabilidad. En la actualidad existe la tecnología para lograrlo, pero el costo es elevado, por lo que únicamente donde el agua es escasa y de alto costo, es conveniente dar un tratamiento de depuración hasta alcanzar la calidad requerida para que el agua se pueda reutilizar y consumir sin riesgo alguno.

En sus inicios, el tratamiento de las aguas de desecho tenía como objetivo primordial el evitar la putrefacción y la diseminación de infecciones que son consecuencia de la dispersión de las aguas residuales sin ningún control, siendo foco de enfermedades como: cólera, fiebre tifoidea, salmonelosis, hepatitis, etc., que causaban y siguen causando la muerte a miles de personas.

En la actualidad, donde el agua es abundante, el objetivo sigue siendo el mismo: evitar la contaminación de las aguas potables y del medio ambiente por efecto de las aguas residuales, pero a medida que el agua es cada vez mas escasa, en regiones de bajas precipitaciones pluviales y de alta densidad de población, el objetivo del tratamiento de las aguas residuales entre otros, es el empleo de éstas aguas recicladas en actividades donde no se requiere de agua potable, como puede ser el riego de parques y jardines, en la industria de la construcción, para uso industrial, etc. evitando el consumo del agua de los yacimientos y de los acuíferos o reservas de agua potable en actividades donde no es necesario emplear agua de alta calidad.

Más aún, en todo el mundo la tendencia es a darle a las aguas residuales procesadas, tratamientos adicionales hasta cumplir con las normas de potabilidad e integrarlas directa o indirectamente a los suministros de aguas potables. La serie de procesos que se requieren para lograr tal objetivo demandan de una inversión y un costo de operación muy alto, pero si la relación beneficio/costo es grande, la opción es

reciclar éstas aguas, ya que la tecnología necesaria para lograrlo está disponible, y cada día a un menor costo.

De acuerdo a los procesos de tratamiento de aguas de desecho se pueden clasificar estos como:

- ▶ Tratamiento Primario
- ▶ Tratamiento Secundario
- ▶ Tratamiento Terciario
- ▶ Tratamientos Avanzados

4.4 TRATAMIENTO PRIMARIO:

Un tratamiento primario consiste en una serie de operaciones que tienen como objetivo disminuir la carga orgánica del agua a procesar. En este esquema, el agua pasa a través de una criba o rejilla donde los sólidos gruesos son removidos y posteriormente el agua pasa a un sedimentador, donde se separan por efecto de la gravedad, una cierta cantidad de las partículas sólidas o sólidos suspendidos, con la ayuda de un coagulante y floculante.

En este proceso es posible disminuir de un 30 a un 60% la DBO inicialmente presente en el agua residual. Este tratamiento en realidad es un paso inicial en la depuración del agua, y solo tiene como objetivo disminuir la carga orgánica del agua, para un proceso posterior más efectivo. Por ejemplo, si los parámetros de sólidos suspendidos y la DBO en un agua residual de una planta industrial sobrepasa los máximos permitidos, un tratamiento primario puede ser la solución, no para depurar el agua y darle un uso posterior, sino solo para cumplir con las normas de descarga del organismo o autoridad que reglamenta éstas descargas.

Un inconveniente de este proceso, es que el sedimento que se obtiene en la separación de los sólidos, es de naturaleza putrefacta y de fácil descomposición, por lo que deberá contratarse una empresa que maneje este residuo (a un costo determinado, por supuesto), o contar con un digestor para procesar biológicamente tal residuo.

TRATAMIENTO PRIMARIO

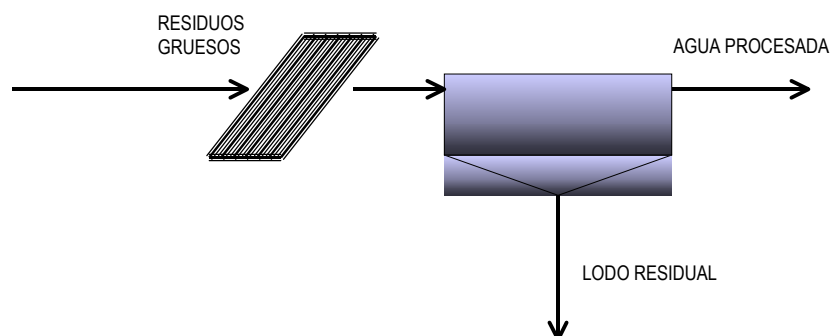


Figura 4: Tratamiento primario de aguas residuales.

4.5 TRATAMIENTO SECUNDARIO:

Un tratamiento secundario implica además de la operación física de cribado y sedimentación, un proceso biológico en el cual el material orgánico se digiere y se convierte, como ya se ha indicado anteriormente, en células ó tejido celular y otros subproductos inocuos como bióxido de carbono y agua.

El proceso biológico de conversión del material orgánico tiene muchas variantes, que se discutirán posteriormente, y estas variantes son con la finalidad de hacer más versátil el proceso biológico, en función de la calidad y características del agua residual que se procesa, ó del tipo de tratamiento que se haya seleccionado para obtener un agua tratada de una calidad específica.

Este proceso a diferencia del tratamiento primario incluye un tratamiento biológico. También, dentro de las variaciones de este proceso puede o no, haber un sedimentador primario, que tiene como finalidad el disminuir la carga orgánica del agua que entra al digestor biológico.

En un tratamiento secundario es posible obtener una remoción de un 80-95% de la DBO original del agua, quedando ésta después del tratamiento con una DBO residual de 10-30 mg/lto de DBO, lo cual es un valor bastante aceptable, ya que en esas condiciones si el agua se vierte a un río o al medio ambiente, a través de procesos naturales el agua es capaz de autodepurarse y alcanzar los niveles de calidad de las aguas naturales.

Si el agua se emplea en riego o en la industria, la DBO residual no causa putrefacción y puede emplearse con toda seguridad para éstos propósitos una vez que ha sido debidamente desinfectada.

4.6 COMPONENTES DE SISTEMAS DE DEPURACIÓN DE AGUA POR TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento de las aguas residuales en la mayor parte de las ciudades comprende un tratamiento secundario, el cual incluye como operaciones unitarias, además del cribado y desarenado del agua de proceso, una sedimentación primaria y secundaria y un proceso biológico que degrada el material orgánico y lo convierte parcialmente en gases inocuos y material celular que se extrae como lodos de sedimentación.

Con plantas con tratamiento secundario es posible obtener agua de baja carga de DBO, 10-30 mg/L como un valor promedio, de acuerdo a datos de plantas que operan con dicho proceso.

Estas aguas depuradas pueden integrarse al medio ambiente sin daños ecológicos y sin problemas en los habitantes expuestos a esta agua. De hecho pueden emplearse en riego agrícola, en riego de jardines, en la industria de la construcción y otros usos y por eso es el proceso mas convencional de tratamiento de aguas residuales, aunque la tendencia es a la implementación de tratamientos adicionales como es el tratamiento terciario y los tratamientos avanzados de estas aguas residuales procesadas con tratamiento secundario, para usos mas específicos donde se requiere de agua de mayor calidad que la de un tratamiento secundario.

TRATAMIENTO SECUNDARIO

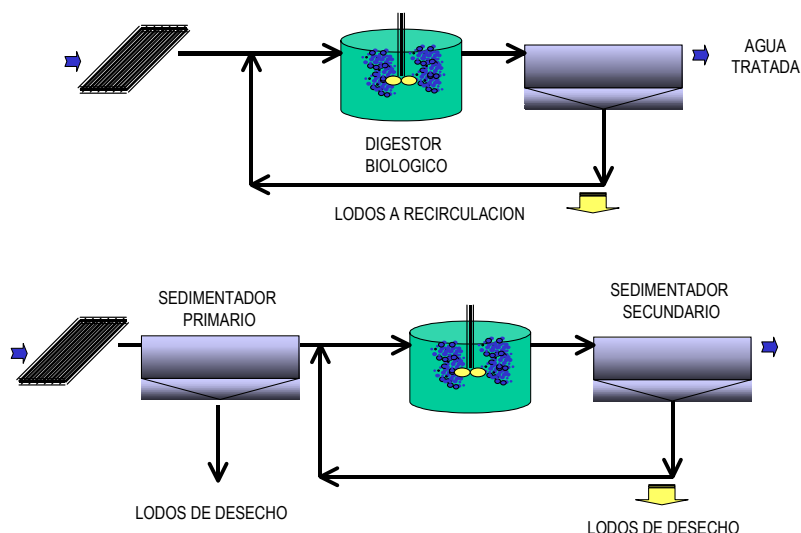


Figura 5: Tratamiento secundario que incluye un proceso biológico, además del tamizado de partículas gruesas. Este tratamiento puede ser con o sin sedimentador primario.

SEDIMENTADOR PRIMARIO: Un sedimentador también es llamado clarificador, ya que su función es el tener un efluente mas limpio o mas claro. En un sedimentador, la velocidad del agua disminuye hasta 1.0

cm/seg. Esto se hace con la intención de que las partículas que no han sido removidas en el desarenador, sedimenten libremente y se separen de la masa del líquido que se desea clarificar.

Con respecto a la geometría, el clarificador puede ser circular o rectangular. En clarificadores rectangulares el agua a tratar entra al sedimentador y fluye linealmente saliendo después de un cierto tiempo, por la parte opuesta de dicho sedimentador.

En clarificadores o sedimentadores circulares el agua de tratamiento se alimenta en el centro del recipiente y el agua fluye radialmente, desde donde es colectada y enviada al siguiente paso de tratamiento.

Independientemente de su geometría, los sedimentadores están diseñados para retener el agua un tiempo de 1.5 a 2 horas. Este tiempo es el tiempo de retención.

También, estos equipos deben disponer de un sistema que remueva y junte la espuma que se forma en la superficie del sedimentador. Esta espuma consiste esencialmente de jabones, grasas, aceites y solventes orgánicos que tienden a separarse del agua y que no tienen tendencia a ser degradados bacteriológicamente, por lo que es bastante conveniente su separación antes de que pasen a otras secciones posteriores del tratamiento.

Los sólidos sedimentados son retirados del fondo del sedimentador y estos sólidos removidos pasan a una etapa posterior de tratamiento para su disposición más conveniente. En clarificadores circulares, la forma en que los sólidos se extraen del fondo del sedimentador, es por medio de un rastrillo acoplado a una flecha y a un mecanismo que lo hace girar lentamente. En el fondo, el clarificador tiene una inclinación hacia el centro, lo que provoca que los sólidos fluyan hacia el centro de donde son extraídos.

En clarificadores rectangulares, una serie de paletas acopladas a un mecanismo de cadena sin fin, "barre" continuamente los sólidos depositados en el fondo y los arrastra hacia un canal terminal de donde pueden ser extraídos con bomba. También en este tipo de sedimentadores, la "nata" o espuma que se forma en su superficie es "barrida" por unas paletas superficiales que arrastran este material flotante hacia un canal dispuesto para este fin.

Un clarificador primario es aquel que se encuentra inmediatamente después del tratamiento previo para remoción de material de tamaño grande y mediano que acompaña al agua procedente del sistema de drenaje.

Ocasionalmente, el único tratamiento que se le da al agua es ésta separación de los sólidos sedimentables en el primer clarificador o sedimentador, antes de integrarla al medio ambiente. Cuando es así, se dice que el tratamiento que recibe el agua es tratamiento primario.

TRATAMIENTO SECUNDARIO: Lo más común es que las aguas residuales que fluyen del sedimentador primario, reciban un tratamiento posterior para disminuir aún más la cantidad de materia orgánica contenida en el agua, y así incrementar su calidad. Este tratamiento posterior consiste en un digestión biológica de la materia orgánica, en condiciones aeróbicas.

Las condiciones aeróbicas son deseables, ya que los productos terminales son sustancias químicamente estabilizadas, no objetables, algo que sí ocurre cuando la digestión es en condiciones de carencia de oxígeno o anaerobias.

Para favorecer las condiciones aeróbicas, el medio en el cual se lleva a efecto la digestión biológica debe estar en contacto con el aire, para que las bacterias tomen de ahí el oxígeno necesario. Existen tres tipos generales de digestores biológicos:

- ▶ Filtro Biológico (Filtro Percolador, Filtro de Ecurrimiento).
- ▶ Contactores Biológicos Rotatorios.
- ▶ Reactor Biológico de Lodos Activados.

FILTRO BIOLÓGICO: El filtro biológico, o también llamado filtro percolador o filtro de escurrimiento, es uno de los sistemas mas antiguos para la depuración de aguas residuales. A pesar de esto es sumamente efectivo, y se tienen eficiencias en la remoción de sólidos disueltos y de la DBO de un 70 a un 85%.

Este filtro consiste en un recipiente, generalmente de geometría circular, que contiene un medio a través del cual el agua pueda fluir. El lecho o cama que atraviesa el agua, consiste de materiales diversos:

Originalmente y todavía hoy en día, se emplea como medio, rocas de forma circular de 1.5 a 5" de diámetro

Actualmente, con más frecuencia, se emplean otros medios como esferas de plástico, y otras partículas sintéticas de bajo peso específico y que proporcionan gran área superficial.

En el filtro percolador, se forma con el tiempo un medio biológico en el cual proliferan las bacterias y demás microorganismos que se encargan de consumir la materia orgánica que se desea remover del agua de tratamiento.

Para que las condiciones sean aeróbicas, en el medio del filtro debe haber huecos y espacios suficientes que permitan que el aire pueda circular para reponer el oxígeno que requieren las bacterias y organismos aeróbicos. El agua que entra al filtro biológico, se distribuye proporcionalmente a lo largo de todo el medio, a través de un distribuidor rotatorio.

El término de filtro biológico tal vez no sea muy apropiado ya que el sistema como tal no es un filtro, sino un medio a través del cual se favorece el contacto de las bacterias con el agua que contiene materia orgánica en solución. Por esto, tal vez sería más afortunado llamarle digestor biológico o contactor biológico.

La masa de microorganismos que crece y prolifera en el medio estático que proporciona el medio del filtro biológico, eventualmente llega a ser tan grande y pesada que se desprende físicamente del medio que lo sostiene y es arrastrado por la corriente al fondo del recipiente del filtro, donde aparece junto con el efluente tratado. Para separar esta masa biológica del agua depurada, se requiere posteriormente de un segundo sedimentador o sedimentador secundario.

CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS: Este tipo de digestores biológicos, son también muy frecuentemente llamados discos biológicos rotatorios, aludiendo a su forma de discos.

En este sistema la parte móvil es el medio biológico y la parte estática es el agua de tratamiento. El medio en el cual crecen y proliferan los microorganismos aeróbicos que se alimentan de la materia orgánica disuelta, consiste en unos discos fabricados en material plástico, acoplados varios de ellos en una sola flecha, a un mecanismo que los hace girar continuamente. La mitad del disco está sumergida en el agua y la otra mitad se encuentra en el aire en forma alternativa y cíclica, ya que los discos están girando continuamente. De esta manera, cuando las bacterias están en el aire tienen la posibilidad de captar el oxígeno que requieren para su metabolismo, mientras que cuando están en el seno del fluido, pueden alimentarse con la materia orgánica disuelta y suspendida.

También en este caso, ocasionalmente llegan a desprenderse conglomerados biológicos, los cuales deben separarse en un posterior sedimentador o sedimentador secundario.

REACTOR BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS: El proceso de lodos activados fue desarrollado en Inglaterra en el año de 1914. Se le llama así debido a la naturaleza activa que muestran estos lodos para estabilizar la materia orgánica disuelta y en suspensión. Existen muchas variaciones de este proceso, pero esencialmente todas estas variaciones consisten de una masa de microorganismos en suspensión y contacto íntimo con el fluido tratado. A esta mezcla de lodos y agua de tratamiento se le llama licor mixto.

La gran aceptación de la depuración por lodos activados es su alta eficiencia, ya que se alcanzan remociones de DBO de hasta un 90 a un 95%, por lo que es posible producir un efluente de alta pureza empleando este método de digestión biológica.

A diferencia de los procesos anteriores, en este caso es necesario suministrar oxígeno para sostener las condiciones aeróbicas. Para esto se emplean agitadores de superficie o se inyecta aire (el cual contiene 21 % en volumen de oxígeno), por medio de compresores o ventiladores.

El tiempo de retención promedio es de 4 a 8 horas, tiempo en el cual las bacterias consumen como alimento la mayoría de la materia orgánica disponible, formando nuevas células y productos de reacción sumamente estables.

La nueva biomasa formada tiene mejores propiedades que la materia orgánica disuelta y en suspensión, en lo que se refiere a capacidad de separarse del fluido principal por sedimentación, por lo que el efluente es más claro además de ser de mejor calidad por su baja DBO. Estos sólidos producidos deben separarse en un siguiente paso, por lo que el licor mixto pasa a un segundo sedimentador o sedimentador secundario.

SEDIMENTADOR SECUNDARIO: Como ya se ha hecho notar, el clarificador o sedimentador secundario, es necesario en todos los procesos para poder separar los sólidos formados en el proceso de digestión biológica ya que si esto no se hace así, el efluente arrastra una gran cantidad de sólidos sedimentables que tienen una alta DBO.

En el sedimentador secundario se separan los sólidos sedimentables, por lo que se obtiene, en la parte superior del sedimentador, un efluente claro y libre de estos sólidos, y del fondo del tanque se extraen los lodos sedimentados, los cuales consisten de un gran número de microorganismos que están en disposición y posibilidades de digerir más materia orgánica. Por esta razón, los lodos activados son regresados a los inicios del proceso, donde existe una gran cantidad de alimento disponible para ellos, en forma de materia orgánica disuelta y suspendida.

La biomasa continúa creciendo y el sistema terminaría por colapsarse si no se retiran periódicamente cantidades adecuadas de estos lodos de sedimentación. La cantidad de lodos que se extrae es la necesaria para tener una relación más o menos constante de lodos activados en el licor mixto. El determinar la cantidad de lodos que se deben extraer depende del proceso y resulta de la experiencia así como de la experimentación en laboratorio y en plantas piloto, que se efectúan con el agua a tratar.

4.7 TRATAMIENTO TERCIARIO:

Las aguas residuales con tratamiento secundario, y posteriormente desinfectadas, como ya se ha mencionado, pueden descargarse a ríos o al medio ambiente sin riesgo alguno, pero existen algunas restricciones.

Si el cuerpo receptor es un acuífero estancado, abierto al aire libre, como puede ser un lago, un estanque o una laguna, existe el riesgo de causar eutroficación en el acuífero, si en el agua residual tratada que se vierte en el cuerpo receptor, el contenido de nitrógeno y fósforo excede ciertos límites establecidos.

El nitrógeno y el fósforo, aunados al bióxido de carbono y al agua, causan la eutroficación o sea el crecimiento descontrolado de lirio, algas y otras plantas acuáticas que exterminan otros seres vivos que conviven en el acuífero, y que inicialmente se encuentran en equilibrio ecológico.

Como prácticamente todas las aguas residuales sobrepasan los niveles de nitrógeno y fósforo, la integración de las aguas residuales con tratamiento secundario a un acuífero de este tipo, causarán la eutroficación del mismo, con la consecuente extinción de otras especies a las cuales no les favorece el exceso de nutrientes.

Un tratamiento terciario implica además de la disminución de la DBO a niveles tolerables, la disminución del contenido de fósforo y nitrógeno, para evitar este problema.

Si las aguas residuales tratadas se emplean en riego o en industrias, no es necesario un tratamiento terciario. Si las aguas tratadas se vierten sobre cuerpos receptores donde potencialmente existe el problema de eutroficación, el tratamiento terciario es recomendable y necesario.

TRATAMIENTO TERCIARIO

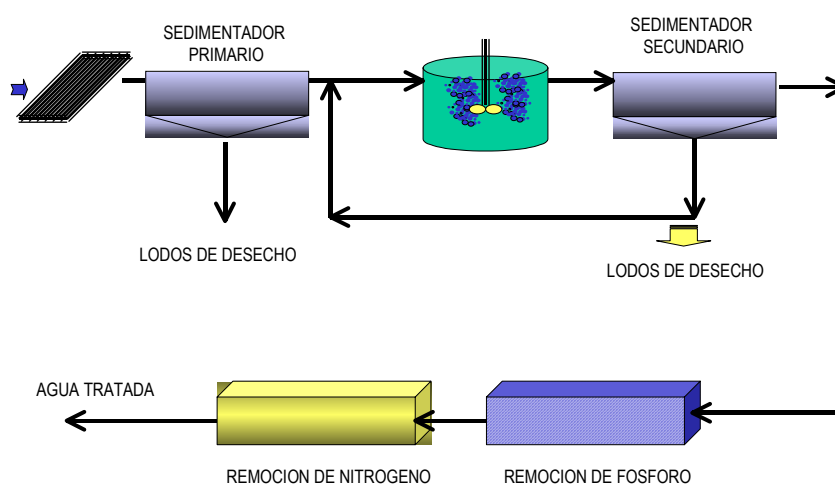


Figura 5: Tratamiento terciario que incluye un proceso biológico, y en el cual se remueven nitrógeno y fósforo para prevenir la eutroficación en lagos y lagunas.

4.8 TRATAMIENTOS AVANZADOS:

Este tipo de proceso implica un tratamiento terciario y posteriormente una serie de tratamientos que tienen como finalidad el elevar la calidad del agua hasta alcanzar y a veces sobrepasar las normas de calidad de aguas potables.

Las aguas con tratamiento terciario contienen un residual de DBO que es necesario disminuir a un valor de cero. También, los procesos de tratamiento que se dan al agua tienen como finalidad el remover las trazas de metales tóxicos y de sustancias orgánicas que el agua pueda contener.

No existe un diagrama único para un proceso de tratamiento avanzado en un agua en particular, pero los procesos que se emplean frecuentemente son:

CARBÓN ACTIVADO: Para la remoción por adsorción de compuestos orgánicos. Su gran capacidad adsorbente de compuestos tóxicos lo hace indispensable en el tratamiento y acondicionamiento del agua potable.

MICROFILTRACIÓN, ULTRAFILTRACIÓN Y NANOFILTRACIÓN: Para la remoción de sólidos residuales de tamaño muy fino, o en el rango de partículas coloidales, que al causar turbidez disminuyen la calidad del agua. También, en la nanofiltración es posible la eliminación en el agua tratada de iones y moléculas de tamaño grande

OSMOSIS INVERSA: Proceso de filtración que implica mecanismos complejos, a través del cual es posible obtener agua de la máxima pureza, ya que por este proceso es posible remover partículas, moléculas y iones que puedan contaminar el agua.

OZONIZACIÓN: Oxidante poderoso que causa la oxidación de ciertos compuestos que precipitan como hidróxidos. También es posible, con el uso del ozono, el rompimiento de moléculas objetables y su conversión a otras especies químicas menos indeseables.

PRECIPITACIÓN CON CAL: Adición de cal o algún otro agente alcalino para precipitar ciertos compuestos en forma de hidróxidos. Por ejemplo el fierro y el manganeso, algunos metales tóxicos, así como el fósforo precipitan en forma de hidróxidos insolubles, con lo cual el agua queda libre de éstos elementos que son problemáticos cuando el agua se integra a un acuífero o se recicla para su reuso.

RESINAS CATIÓNICAS Y ANIÓNICAS: las resinas catiónicas y aniónicas son empleadas para la remoción de ciertos contaminantes. En su ciclo sódico, una resina catiónica puede remover además de calcio y magnesio otros metales objetables que el agua pueda contener.

Las resinas aniónicas en ciclo cloruro pueden remover, nitratos, sulfatos y otros aniones.

Cuando se emplean en forma conjunta, las resinas catiónicas y aniónicas pueden emplearse para disminuir el contenido de sólidos disueltos en el agua tratada.

ELECTRODIÁLISIS: La electrodiálisis es un proceso a través del cual los cationes (cargas positivas) y los aniones (cargas negativas), son atraídos por placas cargadas positivamente o negativamente. El resultado final es una disminución en el contenido de sólidos disueltos, pero su desventaja es que a diferencia de la ósmosis inversa, solo las partículas cargadas son atraídas por los polos cargados y los contaminantes no iónicos, como son ciertos compuestos orgánicos, permanecen en solución acuosa y aparecen en el efluente.

Los contaminantes que las aguas residuales puedan contener y su forma de tratamiento son los que se describen a continuación.

4.9 CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES Y FORMAS DE TRATAMIENTO Y REMOCIÓN

SÓLIDOS SUSPENDIDOS

- SEDIMENTACIÓN
- TAMIZADO Y DESINTEGRACIÓN
- FILTRACIÓN
- FLOTACIÓN
- ADICIÓN DE POLÍMEROS
- COAGULACIÓN/SEDIMENTACIÓN

ORGÁNICOS BIODEGRADABLES

- LODOS ACTIVADOS
- FILTROS BIOLÓGICOS
- DISCOS ROTATORIOS
- LAGUNAS DE AERACIÓN
- FILTRACIÓN EN GRAVA Y ARENA
- FILTRACIÓN EN MEMBRANA

PATÓGENOS

- CLORACIÓN
- OZONIZACIÓN
- RADIACIÓN UV
- DESINFECCIÓN POR CALOR

NUTRIENTES

NITRÓGENO

- NITRIFICACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN EN LECHOS SUSPENDIDOS
- NITRIFICACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN EN LECHOS FIJOS
- INTERCAMBIO IÓNICO
- CLORACIÓN A PUNTO DE RUPTURA

FÓSFORO

- ADICIÓN DE COAGULANTES
- COAGULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN CON CAL
- REMOCIÓN POR PROCESOS BIOLÓGICOS

ORGÁNICOS REFRACTARIOS

- ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO
- OZONIZACIÓN

METALES PESADOS

- PRECIPITACIÓN QUÍMICA
- INTERCAMBIO IÓNICO

SÓLIDOS INORGÁNICOS DISUELTOS

- INTERCAMBIO IÓNICO
- OSMOSIS INVERSA
- ELECTRO DIÁLISIS