

TRATAMIENTO DE AGUAS Y EFLUENTES

La importancia del agua como parte del medio ambiente no se debe exclusivamente a que constituye los 2/3 partes de la superficie del planeta, sino que también en tierra firme el hombre la utiliza desde el punto de vista agrícola y ganadero.

Asimismo el hombre la utiliza, tanto para su forma de vida, como punto importante en la industria, en el lavado y limpieza del cuerpo y la ropa, la producción de energía eléctrica, riego, como auxiliar en la refrigeración, como disolvente y como materia prima, así como para recreación.

Garantizar la calidad del agua disponible es por tanto una tarea de gran importancia para la protección del medio ambiente.

1

CLASES DE IMPUREZAS

Se habla de contaminación del agua en el sentido de la adición a la misma de la materia indeseable que deteriora su calidad o sea, su disponibilidad para los usos y beneficios a los que se destina.

Las sustancias en el agua pueden clasificarse como:

1. Según el volumen de sus partículas
2. Según la naturaleza química

2

Impurezas según el volumen de las partículas

Es importante porque es usualmente tal variable la que condiciona la eficiencia de los diferentes medios de purificación, según el volumen pueden clasificarse en:

- a.- Partículas suspendidas: Tienen un diámetro de aproximadamente 10 – 4 cm. Son lo bastante grandes para depositarse a velocidades razonables y ser retenidas por los filtros comunes.
- b.- Partículas coloidales: Son tan pequeñas que su velocidad de sedimentación es insignificante y pasan a través de la mayoría de los medios filtrantes, por lo que no se pueden eliminar por sedimentación ni por filtración.
- c.- Materia disuelta: No se deposita, no es retenida por los filtros y no enturbia el agua. Puede tener un diámetro de unos 1/1000 micrones. De acuerdo a su naturaleza física pueden ser moléculas o iones.

3

Impurezas según la naturaleza química

a.- Sustancias naturales inorgánicas

1.- Sales alcalinas: Sales de Na^+ y K^+ como productos de la descomposición de los silicatos naturales.

2.- Sales de calcio y magnesio: Se incluyen en el término dureza del agua y su concentración se expresa en grados de dureza equivaliendo un grado de dureza alemán a 1 gramo de CaO en 100 l de agua.

En USA 1 grado de dureza equivale a 1 cg de CaCO_3 en 701.5 cm^3 de agua.

La dureza expresa no solo la cantidad de Ca^{2+} y Mg^{2+} en el agua sino también su capacidad como solvente.

Además de los bicarbonatos que se descomponen al calentar el agua (que representan la dureza temporal) aparecen otros compuestos como sales de ácidos fuertes (dureza permanente) particularmente sulfatos de calcio nitratos y cloruros.

4

Impurezas según la naturaleza química

b.- Sustancias orgánicas naturales

En esta parte se incluyen sustancias que llegan al agua sin intervención humana y cuyo contenido varía según el momento y el lugar. Bajo esta clasificación aparecen: restos del suelo, residuos vegetales y animales que se descomponen, disolviéndose una parte y la otra formando coloides.

Algunos de estos productos en decomposición se le denomina HUMUS y al componente ácido se le conoce como ácidos húmicos.

Hay que considerar en esta categoría los excrementos de peces y aves acuáticas (los de estas últimas tienen efectos nocivos, Ej.: la presencia de salmonela)

5

Impurezas según la naturaleza química

b.- Sustancias orgánicas naturales

Las algas, bacterias, hongos y virus forman un grupo especial dentro de los compuestos orgánicos ya que su determinación clasifica la microbiología del agua.

Sin embargo las impurezas naturales orgánicas son de importancia secundaria para la calidad del agua porque se eliminan en mayor parte por la acción autolimpiadora.

6

Microorganismos en el agua

El agua contaminada puede ser sucia, tener olor o sabor desagradable, corrosiva, poco apta para lavar en ella la ropa pero su efecto más perjudicial sobre el hombre es la transmisión de enfermedades.

Algunas enfermedades que puede transmitir el agua son:

1. Fiebre tifoidea
2. Córlera
3. Disentería
4. Hepatitis
5. Gastroenteritis

7

Microorganismos en el agua

Existen condiciones físicas y químicas que determinan un entorno apto para los organismos acuáticos. De las condiciones físicas pueden mencionarse: Temperatura, presión, Presión Osmótica y turbidez.

Temperatura: La mayoría de los organismos prefiere vivir en aguas a temperatura moderada.

Presión: Es función de la profundidad, pero las profundidades preferidas por un organismo no guardan siempre relación con la presión, sino con otras variables que dependen de la profundidad tales como la temperatura, luz, contenido de oxígeno disuelto.

Presión Osmótica (PO): influye en el movimiento de agua dentro y fuera de la célula. Como la PO depende de la concentración, la salinidad de la solución que rodea la célula es un factor importante que controla la vida biológica.

Turbidez: Los sólidos en suspensión y la turbidez obstruyen la luz solar, recubren el fondo (desplazando la población de organismos que viven allí) y obturban las agallas y otros órganos superiores de las especies acuáticas superiores que viven allí.

8

Microorganismos en el agua

Condiciones Químicas:

Los 6 elementos más importantes son: C, H, O, N, S y P

Los factores químicos más importantes son:

pH: Cuando es muy bajo, inhibe la actividad enzimática para romper las moléculas grandes. Algunas bacterias pueden vivir a pH bajos, otros organismos como las algas prefieren un pH alcalino.

La mayoría de los organismos prefieren un pH entre 6.5 – 8.5.

Oxígeno: Influye no sólo en la vida microscópica, sino también en las formas superiores de vida. Los organismos pueden ser:

- Aeróbicos: Requieren O₂ y generan CO₂
- Anaeróbicos: Los que pueden vivir sin O₂
- Facultativos: Se adaptan a cualquier situación.

9

Microorganismos en el agua

El nivel de O₂ (O.D) disuelto es el principal indicador de contaminación.

Al suministrar alimentos las bacterias empiezan a multiplicarse rápidamente con una velocidad exponencial, resultando en una reducción del O₂ disuelto en el agua. Consumido el alimento, indicado por la reducción de la DBO, la población bacteriana muere y pasa a ser alimento de protozoos; que a su vez desaparecen y pasan a ser alimento de rotíferos y crustáceos.

Se sabe que la materia orgánica contamina el agua porque sirve de sustento a los microorganismos. Un análisis de materia orgánica presente en el agua podría medir el grado de su contaminación, pero no toda la materia orgánica es igualmente digerible por las bacterias. Algunos materiales orgánicos manufacturados por los procesos industriales no están en capacidad de ingresar las cadenas de alimentos por ser extraños como elementos nutritivos, tales materiales se dice que son no biodegradables.

10



Características de las aguas residuales industriales

-
- Temperatura: Importante en los procesos de autodepuración.
 - Turbiedad: Nos da la idea de la cantidad de materias en suspensión que pueden estar presentes.
 - Color: Puede dar una idea del contenido de contaminantes específicos
 - Olor: también puede dar una idea de que residuo industrial puede encontrarse en el agua.
 - Sólidos totales, Fijos y Volátiles: La materia sólida presente en los líquidos residuales es de interés para determinar la presencia de aquellos sólidos que por su naturaleza le comunican propiedades indeseables al agua.
 - Sólidos totales, suspendidos, disueltos y coloidales: Es importante conocer estos sólidos, ya que su separación requiere de equipos específicos dependiendo del tamaño de las partículas, además si son coloidales suspendidos o disueltos.
 - Acidez: importante por su efecto sobre tratamientos biológicos
 - Alcalinidad: Igual que el anterior
 - Fosfatos: Por su acción sobre la proliferación de algas

11



Características de las aguas residuales industriales

-
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Es la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la oxidación de la materia orgánica biodegradable a través de su actividad metabólica en medio aeróbico.
 - Demanda química de oxígeno (DQO): Representa una medida de la cantidad de materia orgánica en las aguas residuales, biodegradable y no biodegradable.
 - Demanda total de oxígeno (DTO): Este parámetro nos indica los requerimientos de oxígeno tanto orgánico como inorgánico.
 - Caudal Medio, máximo, Mínimo: El conocimiento del caudal de las aguas residuales es de gran importancia para el dimensionamiento de los equipos.
 - Productos químicos Tóxicos: Cualquier compuesto que pueda alterar la vida acuática.

12

NORMAS PARA LA DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES

Este aspecto es de sumo interés ya que para que exista necesidad de tratamiento debemos conocer las normas que deben cumplirse.

La siguiente tabla muestra la normalización general para las masas receptoras.

Clasificación	Uso	Normas de calidad, condiciones críticas
A	Abastecimiento de agua potable después de cloración	En ausencia de filtración: Índice coliforme 50/100 cm ³
B	Recreacional, cultivo de peces y ostras	Materia cloacal no visible e índice de coliforme 100 a 1000/100 cm ³ . OD cercano a saturación
C	Pesquería en general	OD: 3 mg/l; color: preferible 20, no mayor de 40
D	Para industrias e irrigación	Ausencia de olores y vista desagradables debido a materias orgánicas flotantes ¹³ OD presente

METODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

CLASIFICACION:

- Tratamiento primario: Se utilizan operaciones unitarias de separación física tales como unidades de desbaste (rejas) y sedimentadores que remueven los sólidos suspendidos y sedimentables.
 - Tratamiento secundario: Procesos biológicos y químicos son usados para remover la materia orgánica.
 - Tratamiento terciario: Son aquellos procesos físicos o químicos necesarios para remover otros constituyentes tales como: N₂, P, metales pesados, etc que no son removidos por el tratamiento secundario
 - Tratamiento de lodos: Son aquellos procesos físicos o químicos necesarios para poder realizar la disposición de lodos.
- Como es de suponer dependiendo de la composición de las aguas residuales de cada industria, se requerirá de los diversos tratamientos expuestos.



OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS

Tratamientos preliminares

Tipos de Separadores

a.- Rejas

Este sistema formado por barras instaladas verticalmente o formando ciertos ángulos con la horizontal es diseñado para detener o separar sólidos. El tamaño de sólidos que se quiera detener será el parámetro de diseño para la separación de las barras.

b.- Microfiltros o mallas

Es una forma de cedazo fino con telas metálicas, generalmente de acero inoxidable, que ha sido originalmente diseñada como la forma de tratamiento de agua potable y como tratamiento terciario de aguas residuales.

Las aberturas de estas mallas varían entre 20 a 150 micras.

c.- Trituradores y rasgadores

El objetivo de esta unidad es reducir sin separar los sólidos gruesos que pudieran llegar a las estaciones de bombeo u otras unidades que requieran protección especial

15



OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS

COAGULACION Y FLOCULACION

Coagulación:

Es la acumulación de coloides o materia suspendida finamente dividida mediante la adición al líquido de un coagulante apropiado ya sea mediante un proceso biológico u otros medios.

Floculación:

Consiste en el tratamiento mecánico de las partículas aglomeradas por adsorción provenientes de la coagulación. La floculación causa un apreciable incremento en el tamaño y la densidad de las partículas coaguladas lo que resulta en una tasa más alta de sedimentación de las partículas floculadas.

16

OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS COAGULACION Y FLOCULACION

Coagulación Química

Este es un proceso en donde se estabilizan los coloides y se les une para facilitar su posterior sedimentación. Esto implica la formación de flóculos químicos que adsorben la materia en suspensión.

Los productos químicos que se usan normalmente son : Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$); sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$); Sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$; cloruro férrico ($FeCl_3$)

Coagulación por neutralización de las cargas eléctricas:

Puede producirse:

1.- Reduciendo el potencial Z de los coloides. El potencial Z es la diferencia que existe en la carga eléctrica entre los coloides estables y el medio dispersante.

2.- Neutralización de la carga de los coloides tratando el medio con un exceso de iones con carga opuesta, normalmente coloides de hidróxidos formados por la reacción del coagulante con iones de agua. Los iones coagulantes se han estabilizado por la reacción, con coloides extraños, cargados de forma opuesta y producen un hidróxido con el agua que es un material que forma flóculos.

17

OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS COAGULACION Y FLOCULACION

Desde el punto de vista de las cargas eléctricas hay dos tipos predominantes de coloides en las aguas residuales:

1.- Coloides presentes naturalmente entre los que se incluyen diferentes proteínas, almidones, semicelulosas, polipéptidos y otras sustancias que poseen cargas negativas.

2.- Coloides producidos artificialmente por coagulante, normalmente hidróxido de hierro y aluminio que están cargados generalmente de forma positiva.

18



OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS SEDIMENTACION

Aunque es una operación unitaria utilizada en casi todas las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, sólo se emplea en un tratamiento industrial cuando el residuo está combinado con vertidos urbanos o contienen un alto porcentaje de sólidos en suspensión precipitables.

El rendimiento de los tanques de sedimentación depende de:

- | | |
|---|-------------------------------|
| ○ Periodo de retención | - Velocidad del viento |
| ○ Características de las aguas | - Diseño de entrada y salida |
| ○ Profundidad del tanque | - Velocidad de las partículas |
| ○ Área del tanque y velocidad de salida | - Temperatura |
| ○ Densidad de las partículas | - Tamaño de las partículas |
| ○ Pretratamiento | - Variación de caudal |
| ○ Eliminación de lodos | - Longitud del depósito |
| ○ Efecto en las paredes | - Número de tabiques |

19



OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS SEDIMENTACION

Descripción del proceso

Existen diferentes tipos de sedimentadores entre los cuales podemos nombrar:

a.- Los sedimentadores primarios que son los que se utilizan para remover aquellos sólidos fácilmente sedimentables

Los sedimentadores secundarios o terciarios se utilizan para remover sólidos suspendidos, producidos en los procesos de tratamiento biológico.

20



OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS FLOTACIÓN

La Flotación se utiliza para separar partículas líquidas o sólidas en suspensión de una fase líquida.

Este proceso consiste en introducir pequeñas burbujas de gas en la fase líquida las cuales se adhieren a las partículas y la fuerza ascendente del conjunto partícula burbuja es tal que hace que las partículas suban a la superficie.

La flotación es aplicada al tratamiento de aguas residuales que contienen altas concentraciones de sólidos finamente divididos. Entre estos podemos nombrar las aguas residuales de industria de alimentos.

TIPOS DE FLOTACION:

- Flotación por aire disperso
- Flotación por inyección de aire
- Electroflotación
- Flotación por aire disuelto

21



OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS FILTRACION

YA SE ESTUDIO ANTERIORMENTE EN EL TEMA 5

22



OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS EVAPORACION

Es el procedimiento empleado para llevar las aguas residuales al punto de ebullición y evaporar el agua pura. Los compuestos inorgánicos del residuo pueden ser concentrados suficientemente hasta formar sólidos para ser utilizados en el ciclo de producción o eliminados fácilmente.

Este método de tratamiento se ha utilizado para aguas residuales radioactivas y en fábricas de papel.

Los factores en la selección del método de evaporación son:

- a.- Económicos
- b.- Sólidos iniciales disueltos
- c.- Materias extrañas
- d.- Situación de la contaminación.

la evaporación de un agua residual presenta muchos problemas, como cambios de concentración durante la evaporación, formación de espumas, sensibilidad a la temperatura.

23



OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS ADSORCION

El fenómeno de la adsorción es la retención de un ión o molécula de tamaño variable llamado adsorbato en la superficie de una molécula llamada adsorbente.

El mecanismo es como sigue:

Cuando el adsorbente y el adsorbato se acercan lo suficiente ciertas fuerzas físicas y químicas de atracción actúan. Las fuerzas físicas son las fuerzas de Van der Waals las cuales son relativamente débiles.

Entre los adsorbentes mas comunes encontramos la arcilla muy fina, alúmina activada y carbón activado.

24



PROCESOS UNITARIAS UTILIZADOS PRECIPITACION QUIMICA

La precipitación química en el tratamiento de aguas residuales envuelve la adición de químicos para alterar el estado físico de los sólidos disueltos y suspendidos, y de esta manera facilitar su posterior remoción por sedimentación.

La precipitación química se utiliza para la remoción de compuestos orgánicos así como la remoción de nitrógeno y fósforo.

Entre las sustancias utilizadas como agentes precipitantes podemos nombrar:

Alumbre, Sulfato ferroso, hidróxido de calcio, cloruro férrico y sulfato férrico. El grado de clarificación obtenido dependerá de la cantidad de químicos usados y del cuidado con que el proceso sea controlado.

25



PROCESOS UNITARIAS UTILIZADOS PRECIPITACION QUIMICA

REMOCION DE FOSFATOS

Los fosfatos pueden ser removidos utilizando precipitación química con diferentes medios iónicos multivalentes.

ADICION DE CLORURO FERRICO

El cloruro férrico residual es un coagulante químico que añadido al agua residual reacciona con la producción de alcalinos y fosfatos, formando sales de hierro insolubles.

Se requieren grandes cantidades de cloruro férrico para asegurar la remoción de los fosfatos.

Su aplicación principal es en la remoción de fosfatos y sólidos suspendidos, pero también se le ha aplicado en la remoción de metales pesados como zinc, cobre, bario, plomo, cromo (3⁺) y arsénico.

26



PROCESOS UNITARIAS UTILIZADOS NEUTRALIZACION

Los vertidos excesivamente ácidos o alcalinos no deben descargarse sin tratamiento de la corriente receptora. Existen muchos métodos recomendados para neutralizar la gran acidez o alcalinidad de los vertidos entre los cuales podemos nombrar:

1. Mezcla de vertidos
2. Utilización de lechos de carbonato calcico
3. Utilización de soda caustica o carbonato sodico
4. Utilización de gas de combustion en vertidos alcalinos
5. Adición de CO₂ comprimido a vertidos alcalinos
6. Adición de acido sulfúrico a vertidos alcalinos

27



PROCESOS UNITARIAS UTILIZADOS OXIDACION Y REDUCCION

Unidades de oxidación para la destrucción de cianuro

El cianuro es uno de los contaminantes con mayor regulación. Algunas veces es letal cuando se le combina con residuos ácidos. Por esta razón la industria de acabados metálicos deberían separar las aguas residuales que contengan cianuros, tales como cianuro de zinc, cianuro de cobre y cianuro de cadmio.

Actualmente existen unidades que oxidan al cianuro a cianato que es relativamente inactivos. Los iones metálicos presentes precipitarán como hidróxidos insolubles.

REDUCCION DE CROMO

El cromo hexavalente se encuentra en las aguas de lavado en las plantas de acabados metálicos donde se usan ácido crómico y cromatos. Una concentración entre 100 y 200 ppm le da una coloración naranja al agua.

La química del tratamiento para eliminar el cromo está basada en la reducción del cromo hexavalente al cromo trivalente, el cromo trivalente precipitará como hidróxido de cromo. Existen tres agentes reductores: El dióxido de azufre, el bisulfato de sodio y el metilbisulfito de sodio.

28



PROCESOS UNITARIAS UTILIZADOS INTERCAMBIO IONICO

Las unidades de intercambio iónico son utilizadas para purificar el agua potable. Su principal función es remover sólidos disueltos. En el tratamiento de aguas residuales esto correspondería a la remoción de iones, tales como Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} así como Cl^- , SO_4^{2-} y CO_3^{2-} .

La alimentación al sistema deberá estar libre de materiales suspendidos.

Los materiales con los que se produce intercambio iónico reciben el nombre de resinas, las cuales a su vez se les conoce como zeolitas.

Tipos de intercambio iónico:

- Intercambiadores catiónicos
- Intercambiadores Aniónicos

29



TRATAMIENTOS BIOLOGICOS LODOS ACTIVADOS

Los Lodos activados son un tratamiento biológico continuo que se caracteriza por una suspensión de microorganismos aeróbicos, que se mantienen en un estado relativamente homogéneo mediante la mezcla y turbulencia generada por la aireación. Los microorganismos se utilizan para oxidar la materia orgánica soluble y coloidal a CO_2 y H_2O en presencia de oxígeno molecular.

La mezcla de microorganismos y agua residual que se ha formado en los tanques de aireación se transfieren a unos sedimentadores o clarificadores secundarios donde se separa el líquido de los sólidos.

La mayor parte de los sólidos son microorganismos los cuales se reciclan a los tanques de aireación, mientras el resto se purga y se dirige a los tratamientos de lodos.

30



TRATAMIENTOS BIOLOGICOS LODOS ACTIVADOS

Los lodos activados son unos de los procesos biológicos más versátiles en uso.

Su aplicación principal es el tratamiento de aguas residuales domésticas y aguas industriales biodegradables.

Entre las limitaciones tenemos:

Limitada capacidad de carga DBO; tiempos de aereación largos, sensible a cargas extremas y elementos tóxicos, operación compleja, altos costos de operación.

31



TRATAMIENTOS BIOLOGICOS FILTRACION BIOLOGICA

En este sistema, el efluente del tratamiento primario es pasado a través de la unidad de tratamiento propiamente dicha, el filtro, denominado filtro percolador o de goteo. Este es esencialmente una caja que encierra un material de contacto, generalmente piedra picada o plástico, que al recibir el líquido residual en forma más o menos permanente se va cubriendo de un crecimiento biológico, responsable de las transformaciones bioquímicas que desdoblan la materia orgánica biodegradable.

A medida que los microorganismos crecen, el ancho del material adherido al medio filtrante aumenta. Este material sera periódicamente lavado por el líquido residual y una nueva capa empezara a crecer.

Su aplicación se encuentra en el tratamiento de aguas residuales domésticas y aguas industriales con altos contenidos de materia orgánica biodegradable.

32



TRATAMIENTOS BIOLOGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Las lagunas de estabilización son estanques o reservorios excavados en el suelo y que pudieran o no tener las paredes y el fondo recubiertos, que son diseñados para el tratamiento de aguas residuales.

Estas lagunas han sido muy populares en pequeñas comunidades debido a sus bajos costos de operación y construcción.

Las lagunas de estabilización se clasifican en:

- Aeróbicas
- Anaeróbicas
- Facultativas
- De acabado

Ninguna de estas lagunas por si sola es capaz de tratar un agua residual completamente.

33



TRATAMIENTOS BIOLOGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Lagunas Anaeróbicas

Son embalses relativamente profundos, el tratamiento se produce por la digestión termofílica anaeróbica de los residuos orgánicos. El proceso consiste en el ataque de la materia orgánica por las bacterias ácido formadoras.

Las lagunas anaeróbicas son muy efectivas en el tratamiento de aguas residuales con muy alto contenido orgánico antes del tratamiento aeróbico.

Entre sus limitaciones se encuentran que puede producir malos olores.

Para una operación eficiente debe mantenerse la temperatura por encima de 24 °C.

34



TRATAMIENTOS BIOLOGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Lagunas Facultativas

Son unos reservorios de una profundidad intermedia donde el agua residual se encuentra estratificada en tres zonas. Estas zonas consisten en una capa anaeróbica en el fondo, una capa aeróbica en la superficie y una zona intermedia que es facultativa. La estratificación es el resultado de la sedimentación de los sólidos así como las variaciones de la densidad del agua producto de las diferencias de temperatura.

Los lodos en el fondo de lagunas facultativas llevaran a cabo la digestión produciendo dióxido de carbono, metano y células.