

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**“APLICACIÓN DE PROCESOS FÍSICO PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”**

**P O R
ELISEL RIVERA MÉNDEZ.**

MONOGRAFIA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila

Febrero de 2012

“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

APLICACIÓN DE PROCESOS FÍSICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
MONOGRAFÍA QUE SE PRESENTA PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

POR:

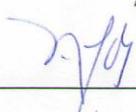
ELISEL RIVERA MENDEZ

APROBADA POR EL H. CUERPO DE ASESORES

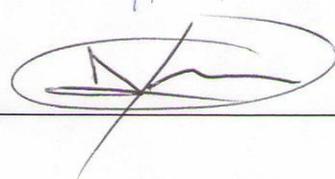
ING. JOEL LIMONES AVITIA
ASESOR PRINCIPAL



MC. NORMA L. ORTIZ GUERRERO
ASESOR



DR. ALFREDO OGAZ
ASESOR



DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO
ASESOR SUPLENTE



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS





TORREÓN, COAHUILA

FEBRERO DE 2013

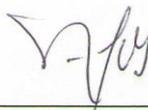
MONOGRAFÍA QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

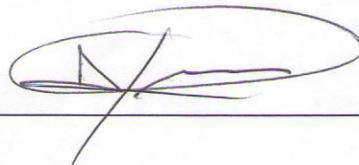
ING. JOEL LIMONES AVITIA
PRESIDENTE DEL JURADO



MC. NORMA LETICIA ORTIZ GUERRERO
VOCAL



DR. ALFREDO OGAZ
VOCAL



DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO
VOCAL SUPLENTE



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

FEBRERO DE 2013

AGRADECIMIENTOS

A JEHOVA:

Gracias Padre Santo por darme la vida y permitirme llegar hasta este momento, gracias por facilitar los medios necesarios para lograr uno de mis objetivos. Te agradezco también padre santo por mi familia y por permitirme estar aún rodeado de todos ellos. Te amo padre santo.

A MIS PADRES:

Quiero agradecer a mis padres por todos los sacrificios que han hecho para poder darme educación y con ello el apoyo moral y económico que hoy se ve reflejado en el término de mis estudios.

A MIS HERMANOS:

Gracias también a mis hermanos por compartir su vida conmigo, gracias por todas las experiencias vividas porque de ello parte también la motivación de superarnos como familia y en este momento están dando resultados.

A MIS MAESTROS:

Quiero agradecer a todos mis maestros que forman parte de mi educación, desde la primaria, secundaria, preparatoria y de la universidad. Aunque muchos no sean testigos y otros ya no estén con nosotros llevo en mi corazón la gratitud de todos sus consejos. Quiero pues darles las gracias por el tiempo que dedicaron para formar a la persona que ahora soy.

DEDICATORIAS

A LAURICELA OROZCO ARIAS:

Quiero dedicar este logro al amor de mi vida Lauricela Orozco porque ella formo parte de mi motivación para seguir estudiando y superarme como persona, siéntete orgullosa pues por que juntos lo logramos.

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
RESUMEN	vi
I INTRODUCCION.....	1
II OBJETIVOS	3
2.1.- OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2.- OBJETIVO ESPECIFICO.	3
III REVISION DE LITERATURA.	4
3.1.- Tratamiento de aguas residuales.....	4
3.2.- Etapas del tratamiento.	7
3.2.1.- Tratamiento primario.....	7
3.2.2.- Remoción de sólidos.	7
3.2.3.- Remoción de arena.	8
3.2.4.- Investigación y maceración.....	8
3.2.5.- Sedimentación.	8
3.3.- Tratamiento secundario.....	9
3.3.1.- Desbaste.....	9
3.3.2.- Fangos activos.	9
3.3.3.- Camas filtrantes (camas de oxidación).	10
3.3.4.- Placas rotativas y espirales.	10
3.3.5.- Reactor biológico de cama móvil.....	10
3.3.6.- Filtros aireados biológicos.....	11
3.3.7.- Reactores biológicos de membrana.....	11
3.3.8.- Sedimentación secundaria.	11
3.4.- Tratamiento terciario.....	12
3.4.1.- Filtración.	12
3.4.2.- Lagunaje.	12
3.4.3.- Tierras húmedas construidas.	13
3.4.4.- Remoción de nutrientes.....	13
3.4.5.- Desinfección.....	15
3.5.- Tratamientos Físicos de aguas residuales.....	16
3.5.1.- Mezclado.....	17

3.5.2.- Descripción y aplicación.....	17
3.5.3.- Mezcla rápida continua de productos químicos.....	18
3.5.4.- Mezcla continua en reactores y tanques de retención.....	18
3.5.5.- Agitadores de paletas.	19
3.6.- Sedimentación.....	20
3.6.1.- Descripción.....	21
3.6.2.- Análisis de la sedimentación de partículas discretas (Tipo 1).....	21
3.6.3.- Análisis de la sedimentación floculenta (Tipo 2)	22
3.6.4.- Análisis de la sedimentación zonal o retardada (Tipo 3).	23
3.6.5.- Análisis de la sedimentación por compresión (Tipo 4)	24
3.7.- Sedimentación Acelerada.	25
3.7.1.- Descripción.....	25
3.7.2.- Análisis	25
3.8.- Flotación.....	27
3.8.1.- Descripción.....	27
3.8.2.- Flotación por aire disuelto.	28
3.8.3.- Flotación por aireación.	28
3.8.4.- Flotación por vacío.....	28
3.9.- Filtración en medio Granular	29
3.9.1.- Descripción de la operación de filtración	30
3.9.2.- Operaciones de filtración semicontinuas.	30
3.9.3.- Clasificación de los sistemas de filtración.....	31
3.9.4.- Sentido del flujo durante la filtración.	31
3.9.5.- Presión actuante en la filtración.	32
3.9.6.- Filtración a caudal constante.	33
3.9.7.- Variables del proceso de filtración.....	33
3.9.8.- Características del agua a filtrar.....	33
3.9.9.- Características del medio filtrante.....	35
3.9.10.- Velocidad de filtración.	35
4.- Plantas de paquete y reactores.	35
4.1.- El tratamiento de los fangos	36
4.2.- La digestión anaeróbica.	37
4.3.- La digestión aeróbica.	37
4.4.- La composta o abonamiento.	38

4.5.- La depolimerización termal.....	38
4.6.- Deposición de fangos.....	39
4.7.- La fotobiodepuración de aguas residuales.....	40
4.8.- El tratamiento en el ambiente de recepción.....	40
4.9.- El déficit mundial del tratamiento.....	41
5.- Potenciales impactos ambientales.....	41
6.- Problemas socioculturales.....	43
7.- Tecnología apropiada.....	44
8.- Tratamiento de agua por procesos biotecnológicos.....	45
Bibliografía Citada.....	46

RESUMEN

Se denomina aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales. Son residuales pues, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen.

Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

Para cuantificar el grado de contaminación y poder establecer el sistema de tratamiento más adecuado, se utilizan varios parámetros expresados en la Norma Oficial Mexicana, correspondiente

En el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos:

- Tratamiento preliminar, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.
- Tratamiento primario que comprende procesos de sedimentación y tamizado.
- Tratamiento secundario que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- Tratamiento terciario o avanzado que está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

Palabras Clave: DBO, floculación, mezcla, residual, tratamiento.

I INTRODUCCION

Las descargas de efluentes domésticos e industriales en los embalses, ríos, mantos acuíferos, zonas de cultivo, etc., generan graves problemas de contaminación del agua, las cuales pueden llegar a ocasionar alteraciones en los ecosistemas, a los sistemas agrícolas, acuícolas, así como serias afecciones a la salud. Por lo que es necesario el desarrollo de procesos para el tratamiento de estos efluentes. El empleo de sistemas de tratamiento de efluentes residuales, representa una de las aplicaciones tecnológicas de mayor importancia en el área ambiental.

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. La tesis fundamental para el control de la contaminación por aguas residuales ha sido tratar las aguas residuales en plantas de tratamiento que hagan parte del proceso de remoción de los contaminantes y dejar que la naturaleza lo complete en el cuerpo receptor. Para ello, el nivel de tratamiento requerido es función de la capacidad de auto purificación natural del cuerpo receptor. A la vez, la capacidad de auto purificación natural es función, principalmente, del caudal del cuerpo receptor, de su contenido en oxígeno, y de su "habilidad" para reoxigenarse. Por lo tanto el objetivo del tratamiento de las aguas residuales es producir efluente reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reúso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables.

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías - y eventualmente bombas - a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetas a regulaciones y estándares locales, estatales y federales

(regulaciones y controles). A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado.

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas (mallas), aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial; posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. Para eliminar metales disueltos se utilizan reacciones de precipitación, que se utilizan para eliminar plomo y fósforo principalmente. A continuación sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada.

II OBJETIVOS

2.1.- OBJETIVO GENERAL

El tratamiento de aguas residuales es el conjunto de procesos destinados a alterar las propiedades o la composición física, química o biológica de las aguas residuales, de manera que se transformen en vertidos inocuos más seguros para su transporte, capaces de recuperación y almacenaje, o más reducidos en volumen

2.2.- OBJETIVO ESPECIFICO.

Determinar los pasos físicos para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de los hogares, industrias y comercio. Por lo que se darán a conocer los equipos que interviene en un planta de tratamiento de aguas residuales.

III REVISION DE LITERATURA.

3.1.- Tratamiento de aguas residuales.

Las aguas residuales son provenientes de tocadores, baños, regaderas o duchas, cocinas, etc; que son desechados a las alcantarillas o cloacas. En muchas áreas, las aguas residuales también incluyen algunas aguas sucias provenientes de industrias y comercios. La división del agua casera drenada en aguas grises y aguas negras es más común en el mundo desarrollado, el agua negra es la que procede de inodoros y orinales y el agua gris, procedente de piletas y bañeras, puede ser usada en riego de plantas y reciclada en el uso de inodoros, donde se transforma en agua negra. Muchas aguas residuales también incluyen aguas superficiales procedentes de las lluvias. Las aguas residuales municipales contienen descargas residenciales, comerciales e industriales, y pueden incluir el aporte de precipitaciones pluviales cuando se usa tuberías de uso mixto pluvial – residuales (González, M. S. 2006)

Los sistemas de alcantarillado que transportan descargas de aguas sucias y aguas de precipitación conjuntamente son llamados sistemas de alcantarillas combinado. La práctica de construcción de sistemas de alcantarillas combinadas es actualmente menos común en los Estados Unidos y Canadá que en el pasado, y se acepta menos dentro de las regulaciones del Reino Unido y otros países europeos, así como en otros países como Argentina. Sin embargo, el agua sucia y agua de lluvia son recolectadas y transportadas en sistemas de alcantarillas separadas, llamados alcantarillas sanitarias y alcantarillas de tormenta de los Estados Unidos, y “alcantarillas fétidas” y “alcantarillas de agua superficial” en Reino Unido, o cloacas y conductos pluviales en otros países europeos. El agua de lluvia puede arrastrar, a través de los techos y la superficie de la tierra, varios contaminantes incluyendo partículas del suelo, metales pesados, compuestos orgánicos, basura animal, aceites y grasa. Algunas jurisdicciones requieren que el agua de lluvia reciba algunos niveles de tratamiento antes de ser descargada al ambiente. Ejemplos de procesos de tratamientos para el agua de lluvia incluyen tanques de sedimentación, humedales y separadores de vórtice (para remover sólidos gruesos).

El sitio donde el proceso es conducido se llama Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). El diagrama de flujo de una planta de tratamiento de aguas residuales es generalmente el mismo en todos los países:

Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- Tratamiento primario (asentamiento de sólidos)
- Tratamiento secundario (tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente)
- Tratamiento terciario (pasos adicionales como lagunas, micro filtración o desinfección)

a).- Tratamiento físico-químico

- Remoción de gas.
- Remoción de arena.
- Precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes.
- Separación y filtración de sólidos.

El agregado de cloruro férrico ayuda a precipitar en gran parte a la remoción de fósforo y ayuda a precipitar biosólidos o lodo.

b).- Tratamiento biológico

- Lechos oxidantes o sistemas aeróbicos.
- Post – precipitación.
- Liberación al medio de efluentes, con o sin desinfección según las normas de cada jurisdicción.
- Biodigestión anaerobia y humedales artificiales utiliza la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales, como nutrientes de una población bacteriana, a la cual se le proporcionan condiciones controladas para controlar la presencia de contaminantes.

1.- Tratamiento físico-químico.

Este paso es usualmente combinado con procedimientos para remover sólidos como la filtración. La combinación de ambas técnicas es referida como un tratamiento físico-químico.

2.- Eliminación del hierro del agua potable.

Los métodos para eliminar el exceso de hierro incluyen generalmente transformación del agua clorada en una disolución generalmente básica utilizando cal apagada; oxidación del hierro mediante el ion hipoclorito y precipitación del hidróxido férrico de la solución básica. Mientras todo esto ocurre el ion OCl está destruyendo los microorganismos patógenos del agua.

3.- Eliminación del oxígeno del agua de las centrales térmicas.

Para transformar el agua en vapor en las centrales térmicas se utilizan calderas a altas temperaturas. Como el oxígeno es un agente oxidante, se necesita un agente reductor como la hidrazina para eliminarlo.

4.- Eliminación de los fosfatos de las aguas residuales domésticas.

El tratamiento de las aguas residuales domésticas incluye la eliminación de los fosfatos. Un método muy simple consiste en precipitar los fosfatos con cal apagada. Los fosfatos pueden estar presentes de muy diversas formas como el ion Hidrógeno fosfato.

5.- Eliminación de nitratos de las aguas residuales domésticas y procedentes de la industria.

Se basa en dos procesos combinados de nitrificación y desnitrificación que conllevan una producción de fango en forma de biomasa fácilmente decantable.(González, M. S. 2006)

3.2.- Etapas del tratamiento.

3.2.1.- Tratamiento primario.

El tratamiento primario es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, de ahí conocido también como tratamiento mecánico.

3.2.2.- Remoción de sólidos.

En el tratamiento mecánico, el afluente es filtrado en cámaras de rejillas para eliminar todos los objetos grandes que son depositados en el sistema de alcantarillado, tales como trapos, barras, compresas, tampones, latas, frutas, papel higiénico, etc. Éste es el usado más comúnmente mediante una pantalla rastrillada automatizada mecánicamente. Este tipo de basura se elimina porque esto puede dañar equipos sensibles en la planta de tratamiento de aguas residuales, además los tratamientos biológicos no están diseñados para tratar sólidos.

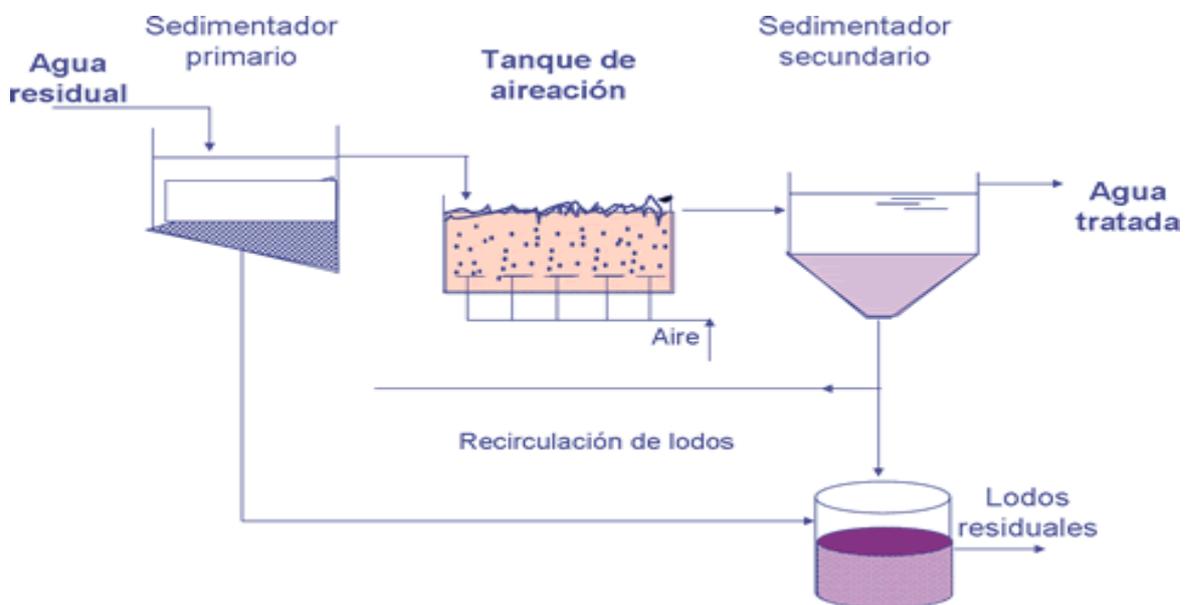


Figura 1.- Diagrama de flujo de un sistema de tratamiento de aguas residuales, donde se pueden observar los pasos principales, como sedimentación primaria, tanque de aireación, sedimentador secundario y la generación de lodos residuales, que posteriormente pueden convertirse en lodos activados.

3.2.3.- Remoción de arena.

Esta etapa (también conocida como escaneo o maceración) típicamente incluye un canal de arena donde la velocidad de las aguas residuales es cuidadosamente controlada para permitir que la arena y las piedras de ésta tomen partículas, pero todavía se mantiene la mayoría del material orgánico con el flujo. Este equipo es llamado colector de arena. La arena y las piedras necesitan ser quitadas a tiempo en el proceso para prevenir daño en las bombas y otros equipos en las etapas restantes del tratamiento. Algunas veces hay baños de arena (clasificador de la arena) seguido por un transportador que transporta la arena a un contenedor para la deposición. El contenido del colector de arena podría ser alimentado en el incinerador en un procesamiento de planta de fangos, pero en muchos casos la arena es enviada a un terraplén(González, M. S. 2006).

3.2.4.- Investigación y maceración.

El líquido libre de abrasivos es pasado a través de pantallas arregladas o rotatorias para remover material flotante y materia grande como trapos; y partículas pequeñas como chícharos y maíz. Los escaneos son recolectados y podrán ser regresados a la planta de tratamiento de fangos o podrán ser dispuestos al exterior hacia campos o incineración. En la maceración, los sólidos son cortados en partículas pequeñas a través del uso de cuchillos rotatorios montados en un cilindro revolvente, es utilizado en plantas que pueden procesar esta basura en partículas. Los maceradores son, sin embargo, más caros de mantener y menos confiables que las pantallas físicas.

3.2.5.- Sedimentación.

Muchas plantas tienen una etapa de sedimentación donde el agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares. Estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios. Los tanques son lo suficientemente grandes, tal que los sólidos fecales pueden situarse y el material flotante como la grasa y plásticos pueden levantarse hacia la superficie y desnatarse. El propósito principal de la etapa primaria es

producir generalmente un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y unos fangos o lodos que puede ser tratado separadamente. Los tanques primarios de establecimiento se equipan generalmente con raspadores conducidos mecánicamente que llevan continuamente los fangos recogido hacia una tolva en la base del tanque donde mediante una bomba puede llevar a éste hacia otras etapas del tratamiento.

3.3.- Tratamiento secundario.

El tratamiento secundario está diseñado para degradar sustancialmente el contenido biológico del agua residual, el cual deriva de residuos humanos, residuos de alimentos, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas municipales utilizan procesos biológicos aeróbicos para este fin.

3.3.1.- Desbaste.

Consiste habitualmente en la retención de los sólidos gruesos del agua residual mediante una reja, manual o autolimpiante, o un tamiz, habitualmente de menor paso o luz de malla. Esta operación no sólo reduce la carga contaminante del agua a la entrada, sino que permite preservar los equipos como conducciones, bombas y válvulas, frente a los depósitos y obstrucciones provocados por los sólidos, que habitualmente pueden ser muy fibrosos: tejidos, papeles, etc.

Los filtros de desbaste son utilizados para tratar particularmente cargas orgánicas fuertes o variables, típicamente industriales, para permitirles ser tratados por procesos de tratamiento secundario. Son filtros típicamente altos, filtros circulares llenados con un filtro abierto sintético en el cual las aguas residuales son aplicadas en una cantidad relativamente alta. El diseño de los filtros permite una alta descarga hidráulica y un alto flujo de aire. En instalaciones más grandes, el aire es forzado a través del medio usando sopladores. El líquido resultante está usualmente con el rango normal para los procesos convencionales de tratamiento.

3.3.2.- Fangos activos.

Las plantas de fangos activos usan una variedad de mecanismos y procesos para usar oxígeno disuelto y promover el crecimiento de organismos biológicos que

remueven substancialmente materia orgánica. También puede atrapar partículas de material y puede, bajo condiciones ideales, convertir amoniaco en nitrito y nitrato, y en última instancia a gas nitrógeno.

3.3.3.- Camas filtrantes (camas de oxidación).

Se utiliza la capa filtrante de goteo utilizando plantas más viejas y plantas receptoras de cargas más variables, las camas filtrantes son utilizadas donde el licor de las aguas residuales es rociado en la superficie de una profunda cama compuesta de coque (carbón, piedra caliza o fabricada especialmente de medios plásticos). Tales medios deben tener altas superficies para soportar las biopelículas que se forman. El licor es distribuido mediante unos brazos perforados rotativos que irradian de un pivote central. El licor distribuido gotea en la cama y es recogido en drenes en la base. Estos drenes también proporcionan un recurso de aire que se infiltra hacia arriba de la cama, manteniendo un medio aerobio. Las películas biológicas de bacterias, protozoarios y hongos se forman en la superficie media y se comen o reducen los contenidos orgánicos. Esta biopelícula es alimentada a menudo por insectos y gusanos(González, M. S. 2006).

3.3.4.- Placas rotativas y espirales.

En algunas plantas pequeñas son usadas placas o espirales de revolvimiento lento que son parcialmente sumergidas en un licor. Se crea un flóculobiotico que proporciona el substrato requerido.

3.3.5.- Reactor biológico de cama móvil.

El reactor biológico de cama móvil (MBBR, por sus siglas en inglés) asume la adición de medios inertes en vasijas de fangos activos existentes para proveer sitios activos para que se adjunte la biomasa. Esta conversión hace como resultante un sistema de crecimiento. Las ventajas de los sistemas de crecimiento adjunto son:

- 1) Mantener una alta densidad de población de biomasa
- 2) Incrementar la eficiencia del sistema sin la necesidad de incrementar la concentración del licor mezclado de sólidos (MLSS)
- 3) Eliminar el costo de operación de la línea de retorno de fangos activos (RAS).

3.3.6.- Filtros aireados biológicos.

Filtros aireados (o anóxicos) biológicos (BAF) combinan la filtración con reducción biológica de carbono, nitrificación o desnitrificación. BAF incluye usualmente un reactor lleno de medios de un filtro. Los medios están en la suspensión o apoyados por una capa en el pie del filtro. El propósito doble de este medio es soportar altamente la biomasa activa que se une a él y a los sólidos suspendidos del filtro. La reducción del carbón y la conversión del amoníaco ocurre en medio aerobio y alguna vez alcanzado en un sólo reactor mientras la conversión del nitrato ocurre en una manera anóxica. BAF es también operado en flujo alto o flujo bajo dependiendo del diseño especificado por el fabricante.

3.3.7.- Reactores biológicos de membrana.

MBR es un sistema con una barrera de membrana semipermeable o en conjunto con un proceso de fangos. Esta tecnología garantiza la remoción de todos los contaminantes suspendidos y algunos disueltos. La limitación de los sistemas MBR es directamente proporcional a la eficaz reducción de nutrientes del proceso de fangos activos. El coste de construcción y operación de MBR es usualmente más alto que el de un tratamiento de aguas residuales convencional de esta clase de filtros.

3.3.8.- Sedimentación secundaria.

El paso final de la etapa secundaria del tratamiento es retirar los flóculos biológicos del material de filtro, y producir agua tratada con bajos niveles de materia orgánica y materia suspendida. En una planta de tratamiento rural, se realiza en el tanque de sedimentación secundaria.

3.4.- Tratamiento terciario.

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.) Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, es siempre llamada pulir el efluente (González, M. S. 2006).

3.4.1.- Filtración.

La filtración de arena remueve gran parte de los residuos de materia suspendida. El carbón activado sobrante de la filtración remueve las toxinas residuales.

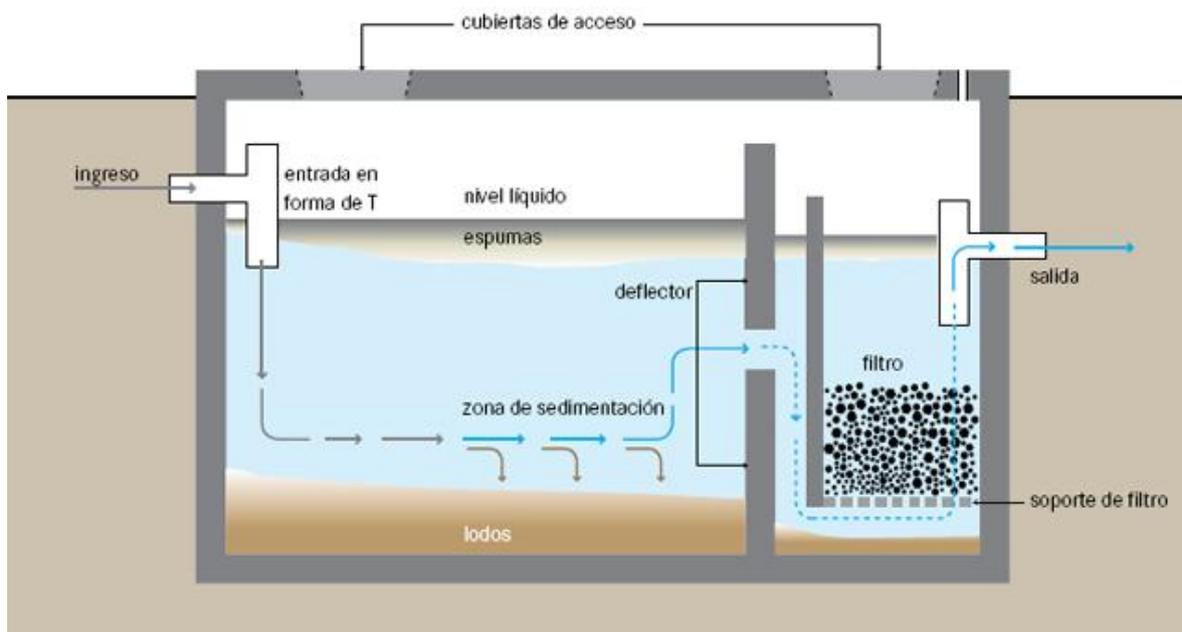


Figura2.- Esquemas de un tanque de filtración, empleado para la separación de grasas y aceites, así como de los sólidos presentes en el agua residual.

3.4.2.- Lagunaje.

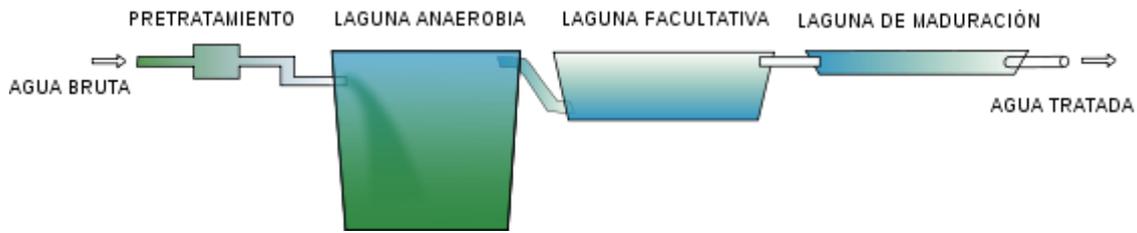


Figura 3.- Diagrama de flujo de planta de lagunaje, empleada para el tratamiento del agua residual, compuesta por una pre-tratamiento, una laguna anaeróbica, una laguna facultativa y una laguna de maduración.

El tratamiento de lagunas proporciona el establecimiento necesario y fomenta la mejora biológica de almacenaje en charcos o lagunas artificiales. Se trata de una imitación de los procesos de autodepuración que somete un río o un lago al agua residual de forma natural. Estas lagunas son altamente aerobias y la colonización por los macrofitos nativos, especialmente cañas, se dan a menudo. Los invertebrados de alimentación del filtro pequeño tales como Daphnia y especies de Rotifera asisten grandemente al tratamiento removiendo partículas finas.

El sistema de lagunaje es barato y fácil de mantener pero presenta los inconvenientes de necesitar gran cantidad de espacio y de ser poco capaz para depurar las aguas de grandes núcleos.

3.4.3.- Tierras húmedas construidas.

Las tierras húmedas construidas incluyen camas de caña y un rango similar de metodologías similares que proporcionan un alto grado de mejora biológica aerobia y pueden ser utilizados a menudo en lugar del tratamiento secundario para las comunidades pequeñas, también para la Fitoremediación.

Un ejemplo es una pequeña cama de cañas (o camas de lámina) utilizada para limpiar el drenaje del lugar de los elefantes en el parque zoológico de Chester en Inglaterra.

3.4.4.- Remoción de nutrientes.

Las aguas residuales pueden también contener altos niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que eso en ciertas formas puede ser tóxico para peces e

invertebrados en concentraciones muy bajas (por ejemplo amoníaco) o eso puede crear condiciones insanas en el ambiente de recepción (por ejemplo: mala hierba o crecimiento de algas). Las malas hierbas y las algas pueden parecer ser una edición estética, pero las algas pueden producir las toxinas, y su muerte y consumo por las bacterias (decaimiento) pueden agotar el oxígeno en el agua y asfixiar los peces y a otra vida acuática. Cuando se recibe una descarga de los ríos a los lagos o a los mares bajos, los nutrientes agregados pueden causar pérdidas entrópicas severas perdiendo muchos peces sensibles a la contaminación en el agua. La retirada del nitrógeno o del fósforo de las aguas residuales se puede alcanzar mediante la precipitación química o biológica.

La remoción del nitrógeno se efectúa con la oxidación biológica del nitrógeno del amoníaco a nitrato (nitrificación que implica nitrificar bacterias tales como Nitrobacter y Nitrosomonas), y entonces mediante la reducción, el nitrato es convertido al gas nitrógeno (desnitrificación), que se lanza a la atmósfera. Estas conversiones requieren condiciones cuidadosamente controladas para permitir la formación adecuada de comunidades biológicas. Los filtros de arena, las lagunas y las camas de lámina se pueden utilizar para reducir el nitrógeno. Algunas veces, la conversión del amoníaco tóxico al nitrato solamente se refiere a veces como tratamiento terciario (González, M. S. 2006).

La oxidación anaeróbica se define como aquella en que la descomposición se ejecuta en ausencia de oxígeno disuelto y se usa el oxígeno de compuesto orgánicos, nitratos y nitritos, los sulfatos y el CO_2 , como aceptador de electrones. En el proceso conocido como desnitrificación, los nitratos y nitritos son usados por las bacterias facultativas, en condiciones anóxicas, condiciones intermedias, con formación de CO_2 , agua y nitrógeno gaseoso como productos finales.

La retirada del fósforo se puede efectuar biológicamente en un proceso llamado retiro biológico realizado del fósforo. En este proceso específicamente bacteriano, llamadas Polifosfato que acumula organismos, se enriquecen y acumulan selectivamente grandes cantidades de fósforo dentro de sus células. Cuando la biomasa enriquecida en estas bacterias se separa del agua tratada, los biosólidos bacterianos tienen un alto valor del fertilizante. La retirada del fósforo se puede

alcanzar también, generalmente por la precipitación química con las sales del hierro (por ejemplo: cloruro férrico) o del aluminio (por ejemplo: alumbre). El fango químico que resulta, sin embargo, es difícil de operar, y el uso de productos químicos en el proceso del tratamiento es costoso. Aunque esto hace la operación difícil y a menudo sucia, la eliminación química del fósforo requiere una huella significativamente más pequeña del equipo que la de retiro biológico y es más fácil de operar (González, M. S. 2006).

3.4.5.- Desinfección.

El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales. El agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, la clorina, o la luz UV. La Cloramina, que se utiliza para el agua potable, no se utiliza en el tratamiento de aguas residuales debido a su persistencia.

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfección de las aguas residuales en Norteamérica debido a su bajo historial de costo y del largo plazo de la eficacia. Una desventaja es que la desinfección con cloro del material orgánico residual puede generar compuestos orgánicamente clorados que pueden ser carcinógenos o dañinos al ambiente. La clorina o las "cloraminas" residuales puede también ser capaces de tratar el material con cloro orgánico en el ambiente acuático natural. Además, porque la clorina residual es tóxica para especies acuáticas, el efluente tratado debe ser químicamente desclorinado, agregándose complejidad y costo del tratamiento.

La luz ultravioleta (UV) se está convirtiendo en el medio más común de la desinfección en el Reino Unido debido a las preocupaciones por los impactos de la clorina en el tratamiento de aguas residuales y en la clorinación orgánica en aguas receptoras. La radiación UV se utiliza para dañar la estructura genética de las bacterias, virus, y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción. Las desventajas dominantes de la desinfección UV son la necesidad del mantenimiento y del reemplazo frecuentes de la lámpara y la necesidad de un efluente altamente tratado para asegurarse de que los microorganismos objetivo no están blindados de la radiación UV (es decir, cualquier sólido presente en el efluente tratado puede proteger microorganismos contra la luz UV).

El ozono O_3 es generado pasando el O_2 del oxígeno con un potencial de alto voltaje resultando un tercer átomo de oxígeno y que forma O_3 . El ozono es muy inestable y reactivo y oxida la mayoría del material orgánico con que entra en contacto, de tal manera que destruye muchos microorganismos causantes de enfermedades. El ozono se considera ser más seguro que la clorina porque, mientras que la clorina que tiene que ser almacenada en el sitio (altamente venenoso en caso de un lanzamiento accidental), el ozono es colocado según lo necesitado. La ozonización también produce pocos subproductos de la desinfección que la desinfección con cloro. Una desventaja de la desinfección del ozono es el alto costo del equipo de la generación del ozono, y que la cualificación de los operadores deben ser elevada (González, M. S. 2006).

3.5.- Tratamientos Físicos de aguas residuales.

Los contaminantes en suspensión, coloidales y disueltos (orgánico e inorgánicos), en las aguas residuales se pueden separar físicamente. Los contaminantes se eliminan de las aguas residuales en orden de dificultad creciente: Primero se retienen; los trapos, palos, y objetos grandes, después se separa a arenilla, por sedimentación, en tanques o cámaras desarenadoras. Los sólidos pequeños, se pueden separar y concentrar en tanques primarios de sedimentación por gravedad. (Henry. J.G. y Heinke G. W.)

Procesos Físicos.- La sedimentación por gravedad es el proceso físico más común para separar sólidos en suspensión de las aguas residuales. Los tratamientos físicos de las aguas residuales están compuestos de los siguientes pasos:

3.5.1.- Mezclado.

El mezclado es una operación unitaria de gran importancia en muchas fases del tratamiento de aguas residuales, entre las que podemos citar:

- Mezcla completa de una sustancia con otra
- Mezcla de suspensiones líquidas
- Mezcla de líquidos miscibles
- Floculación

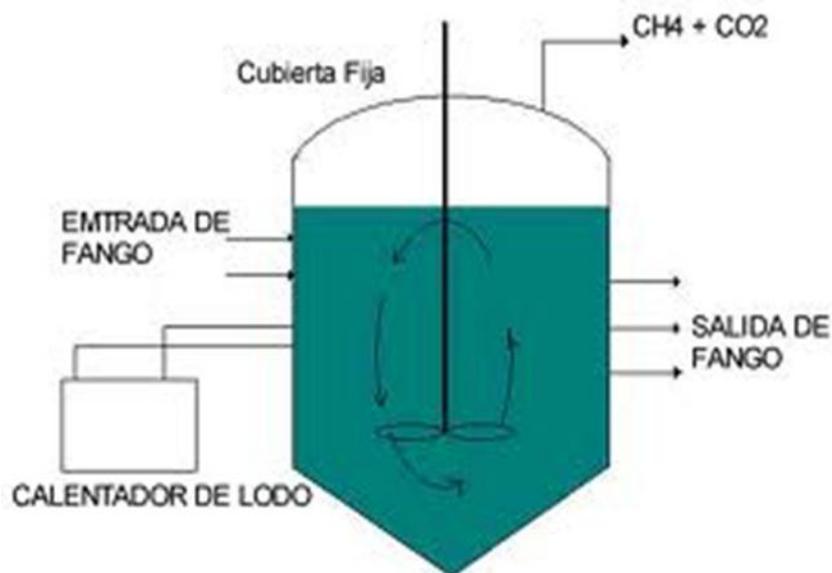


Figura 4.- Tanque de mezclado, empleado en el tratamiento de aguas residuales, en este tipo de equipos, normalmente, se lleva a cabo el mezclado del agua residual con los lodos activados, con la finalidad de precipitar los sólidos suspendidos en el agua, para formar más lodos.

3.5.2.- Descripción y aplicación.

La mayoría de las operaciones de mezclado relacionadas con el tratamiento de las aguas residuales puede clasificarse en continuas y rápidas continuas (30 segundos o menos). Estas últimas suelen emplearse en los casos en los que

debe mezclarse una sustancia con otra, mientras que las primeras tienen su aplicación en aquellos casos en los que debe mantenerse en suspensión el contenido del reactor o del depósito. En los siguientes apartados se analiza cada uno de estos tipos de mezclado.

3.5.3.- Mezcla rápida continua de productos químicos.

En el proceso de mezcla rápida continua, el principal objetivo consiste en mezclar completamente una sustancia con otra. La mezcla rápida puede durar desde una fracción de segundo hasta alrededor de 30 segundos. La mezcla rápida de productos químicos se puede llevar a cabo mediante diversos sistemas, entre los que destacan:

- Resaltos hidráulicos en canales
- Dispositivos Venturi
- Conducciones
- Por bombeo
- Mediante mezcladores estáticos
- Mediante mezcladores mecánicos

En los cuatro primeros, el mezclado se consigue como consecuencia de las turbulencias que se crean en el régimen de flujo. En los mezcladores estáticos, las turbulencias se producen como consecuencia de la disipación de energía, mientras que en los mezcladores mecánicos las turbulencias se consiguen mediante la aportación de energía con impulsores giratorios como las paletas, hélices y turbinas.

3.5.4.- Mezcla continua en reactores y tanques de retención.

En el proceso de mezcla continua, el principal objetivo consiste en mantener en un estado de mezcla completa el contenido del reactor o del tanque de retención. El mezclado continuo puede llevarse a cabo mediante diversos sistemas, entre los cuales se encuentran:

- Los mezcladores mecánicos

- Mecanismos neumáticos
- Mezcladores estáticos
- Por bombeo.

El mezclado mecánico se lleva a cabo mediante los mismos procedimientos y medios que el mezclado mecánico rápido continuo. El mezclado neumático comporta la inyección de gases, que constituye un factor importante en el diseño de los canales de aireación del tratamiento biológico del agua residual. Un canal con pantallas deflectoras es un tipo de mezclador estático que se emplea en el proceso de floculación (González, M. S. 2006).

3.5.5.- Agitadores de paletas.

Los agitadores de paletas suelen girar lentamente puesto que tienen una superficie grande de acción sobre el fluido. Los agitadores de paletas se emplean como elementos de floculación cuando deben añadirse al agua residual, o a los fangos, coagulantes como el sulfato férrico o de aluminio, o adyuvantes a la coagulación como los polielectrolitos y la cal.

La coagulación se promueve, mecánicamente, con una agitación moderada con palas girando a velocidades bajas. Esta acción se complementa, en ocasiones, con la disposición de unas hojas o láminas estáticas entre las palas giratorias para reducir el movimiento circular de la masa de agua y favorecer así el mezclado. El aumento del contacto entre partículas conduce a un incremento del tamaño del flóculo, pero una agitación demasiado vigorosa puede producir tensiones que destruyan los flóculos formando partículas de menor tamaño. Es importante controlar adecuadamente la agitación, de modo que los tamaños de los flóculos sean los adecuados y sedimenten rápidamente. La producción de un buen flóculo requiere generalmente un tiempo de detención de entre 10 y 30 minutos.

Los fabricantes de equipos han llevado a cabo numerosos estudios para obtener las configuraciones idóneas de las dimensiones de las paletas, separación entre ellas y velocidad de rotación. Se ha podido constatar que una velocidad lineal de,

aproximadamente, 0,6 a 0,9 m/s en los extremos de las paletas crea suficiente turbulencia sin romper los flóculos.

3.6.- Sedimentación.

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales. Los términos sedimentación y decantación se utilizan indistintamente.

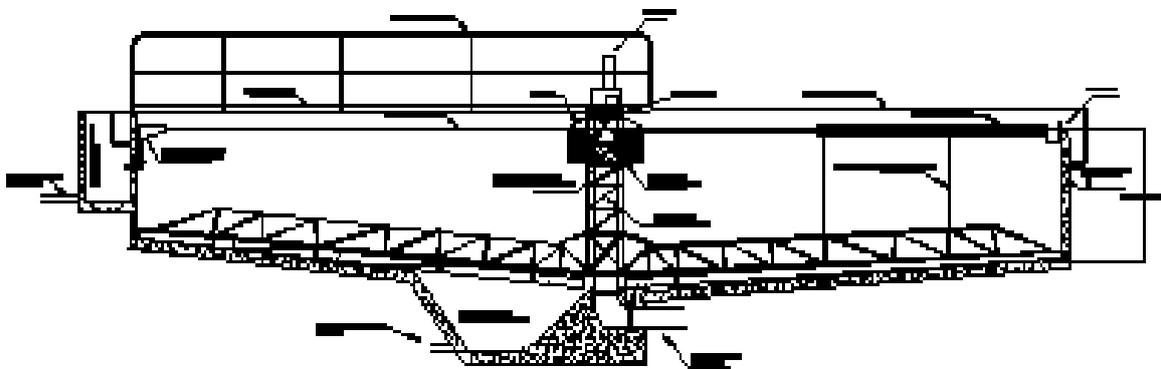


Fig. 5.- Equipo sedimentador, empleado en el tratamiento de aguas residuales, en el cual se lleva a cabo la sedimentación de los sólidos suspendidos totales, presentes en el agua residual, además ayuda a la eliminación de las arenillas.

Esta operación se emplea para la eliminación de arenas, de la materia en suspensión en flóculo biológico en los decantadores secundarios en los procesos de fango activado, tanques de decantación primaria, de los flóculos químicos cuando se emplea la coagulación química, y para la concentración de sólidos en los espesadores de fango.

En la mayoría de los casos, el objetivo principal es la obtención de un efluente clarificado, pero también es necesario producir un fango cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo. En el proyecto de tanques de sedimentación, es preciso prestar atención tanto a la obtención de un efluente clarificado como a la producción de un fango concentrado (González, M. S. 2006).

3.6.1.- Descripción.

En función de la concentración y de la tendencia a la interacción de las partículas, se pueden producir cuatro tipos de sedimentación: discreta, floculenta, retardada (también llamada zonal), y por compresión.

3.6.2.- Análisis de la sedimentación de partículas discretas (Tipo 1)

La sedimentación de partículas discretas no floculantes puede analizarse mediante las leyes clásicas formuladas por Newton y Stokes. La ley de Newton proporciona la velocidad final de una partícula como resultado de igualar el peso efectivo de la partícula a la resistencia por rozamiento o fuerza de arrastre. El peso efectivo viene dado por:

$$\text{Fuerza gravitatoria} = (\rho_s - \rho)gV$$

Donde: ρ_s = densidad de la partícula.

ρ = densidad del fluido.

g = aceleración de la gravedad.

V = volumen de la partícula.

La fuerza de arrastre por unidad de área depende de la velocidad de la partícula, de la densidad y la viscosidad del fluido, y del diámetro de la partícula. El coeficiente de arrastre C_D (adimensional), viene definido por la Ecuación:

$$\text{Fuerza de arrastre por fricción: } C_D = \frac{C_D A \rho V^2}{2}$$

En la que: C_D = coeficiente de arrastre.

A = área transversal al flujo o área de la proyección de la partícula sobre el plano normal a v .

V = velocidad de la partícula.

3.6.3- Análisis de la sedimentación floculenta (Tipo 2)

En soluciones relativamente diluidas, las partículas no se comportan como partículas discretas sino que tienden a agregarse unas a otras durante el proceso de sedimentación. Conforme se produce la coalescencia o floculación, la masa de partículas va aumentando, y se deposita a mayor velocidad. La medida en que se desarrolle el fenómeno de floculación depende de la posibilidad de contacto entre las diferentes partículas, que a su vez es función de la carga de superficie, de la profundidad del tanque, del gradiente de velocidad del sistema, de la concentración de partículas y de los tamaños de las mismas. El efecto de estas variables sobre el proceso sólo se puede determinar mediante ensayos de sedimentación.

Para determinar las características de sedimentación de una suspensión de partículas flocúntas se puede emplear una columna de sedimentación. El diámetro de la misma puede ser cualquiera, pero su altura deberá ser la misma que la del tanque de sedimentación de que se trate. Se han obtenido buenos resultados empleando un tubo de plástico de 15 cm. de diámetro por unos 3 m de altura. Los orificios de muestreo deben colocarse cada 0,5 m. La solución con materia en suspensión se introduce en la columna de modo que se produzca una distribución uniforme de tamaños de las partículas en toda la profundidad del tubo.

También es necesario cuidar de que la temperatura se mantenga uniforme durante el ensayo, con objeto de evitar la presencia de corrientes de convección. La sedimentación debe tener lugar en condiciones de reposo. La retirada de muestras, y su posterior análisis para conocer el contenido total de sólidos, se realiza a diferentes intervalos de tiempo. Para cada muestra analizada se calcula el porcentaje de eliminación, y los resultados se representan en una gráfica en función de la profundidad y el tiempo en que se ha tomado la muestra, siguiendo un sistema análogo al de la representación de cotas en un plano topográfico. Una vez dibujados los puntos, se trazan las curvas que pasan por los puntos de idéntico porcentaje de eliminación.

3.6.4.- Análisis de la sedimentación zonal o retardada (Tipo 3).

En los sistemas que contienen elevadas concentraciones de sólidos en suspensión, además de la sedimentación libre o discreta y de la sedimentación floculenta, también suelen darse otras formas de sedimentación, como la sedimentación zonal (Tipo 3) y la sedimentación por compresión (Tipo 4). El fenómeno de sedimentación que ocurre cuando se introduce en un cilindro graduado una suspensión concentrada, con concentración inicialmente uniforme.

Debido a la alta concentración de partículas, el líquido tiende a ascender por los intersticios existentes entre aquéllas. Como consecuencia de ello, las partículas que entran en contacto tienden a sedimentar en zonas o capas, manteniendo entre ellas las mismas posiciones relativas. Este fenómeno se conoce como sedimentación retardada. Conforme van sedimentando las partículas, se produce una zona de agua relativamente clara por encima de la región de sedimentación.

Las partículas dispersas, relativamente ligeras, que permanecen en esta región sedimentarán como partículas discretas o floculadas. En la mayoría de los casos, se presenta una interfase bien diferenciada entre la zona de sedimentación discreta y la región de sedimentación retardada, como se puede apreciar en la Fig. 6-14. La velocidad de sedimentación de la zona de sedimentación retardada es función de la concentración de sólidos y de sus características.

A medida que avanza el proceso de sedimentación, comienza a formarse en el fondo del cilindro una capa de partículas comprimidas, en la zona de sedimentación por compresión. Aparentemente, las partículas de esta región forman una estructura en la que existe contacto entre ellas. Al formarse la región o capa de compresión, las capas en las que las concentraciones de sólidos son, sucesivamente, menores que en la zona de compresión tienden a ascender por el tubo. Por lo tanto, de hecho, la zona de sedimentación zonal o retardada presenta una graduación de concentraciones de sólidos comprendida entre la zona de compresión y la de sedimentación.

Según Dick y Ewing las fuerzas de interacción física entre las partículas, especialmente intensas en la zona de compresión, disminuyen con la altura, pudiendo existir, en alguna medida, en la zona de sedimentación retardada.

Generalmente, debido a la variabilidad de los resultados obtenidos, la determinación de las características de sedimentabilidad de las suspensiones en las que la sedimentación zonal y la sedimentación por compresión desempeñan un papel importante suele realizarse mediante ensayos de sedimentación. Basándose en los datos deducidos a partir de ensayos en columnas de sedimentación, el área necesaria para las instalaciones de sedimentación y espesado de fangos puede determinarse empleando dos técnicas diferentes. En el primer método, se emplean los datos obtenidos en un ensayo de sedimentación simple (batch), mientras que en el segundo, conocido como el método de flujo de sólidos, se emplean datos procedentes de una serie de ensayos de sedimentación realizados con diferentes concentraciones de sólidos. En los apartados siguientes se describen ambos métodos.

3.6.5.- Análisis de la sedimentación por compresión (Tipo 4)

El volumen necesario para el fango de la región de compresión también suele determinarse mediante ensayos de sedimentación. Se ha comprobado que la velocidad de sedimentación en esta región es proporcional a la diferencia entre la altura de la capa de fango en el tiempo t y la altura del fango transcurrido un periodo de tiempo prolongado. Este fenómeno puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

Donde: H_t = altura del fango en el tiempo t .

H = altura del fango tras un prolongado periodo de tiempo, p.c. 24 horas.

H_2 = altura del fango en el tiempo t_2 .

i = constante para una suspensión dada.

Se ha observado que la agitación sirve para compactar el fango en la región de compresión, al promover la rotura de los flóculos y la circulación del agua. Los

equipos de los tanques de sedimentación incluyen rascadores de fondo para transportar el fango y conseguir una mayor compactación. Dick y Ewing [61] encontraron que la agitación también favorece una mejor sedimentación en la región de sedimentación zonal. Por todo ello, puede ser conveniente incluir el estudio de la influencia de la agitación como parte esencial de los ensayos de sedimentación, máxime si sus resultados van a ser empleados para determinar las superficies y volúmenes de las instalaciones de sedimentación.

3.7.- Sedimentación Acelerada.

La sedimentación, se produce debido a la acción de la fuerza de la gravedad dentro de un campo de aceleraciones constante. La eliminación de partículas sedimentables también puede llevarse a cabo aprovechando las propiedades de un campo de aceleraciones variable.

3.7.1.- Descripción

Para la eliminación de arenas del agua residual se han desarrollado numerosos aparatos que aprovechan tanto la acción de las fuerzas gravitacionales, como la acción de la fuerza centrífuga y las velocidades inducidas. Los principios en los que se basa uno de estos aparatos, conocido como Teacupseparator (separador en forma de taza de té) A primera vista, el separador tiene forma de cilindro achatado. El agua residual se introduce tangencialmente cerca del fondo del cilindro, y se extrae por la parte superior del mismo, también tangencialmente. La arena se extrae por una abertura dispuesta en el fondo del elemento.

3.7.2.- Análisis

Dentro del separador, debido a que la parte superior está cerrada, el flujo giratorio crea un vórtice libre. La principal característica de un vórtice libre es que el producto de la velocidad tangencial por el radio es constante:

$$V_r = \text{Constante}$$

donde V = velocidad tangencial, m/s.

r = radio, m.

El significado de la Ecuación se puede ilustrar con el siguiente ejemplo. Supongamos que la velocidad tangencial en un separador de este tipo de 1,5 m de radio es de 0,9 m/s. En el punto más alejado del centro, el producto de la velocidad tangencial por el radio tiene el valor de 1,35 m²/s. Si la abertura de extracción de las arenas tiene un radio de 30 cm, la velocidad tangencial en la entrada de la abertura será de 4,5 m/s. La fuerza centrífuga que experimenta una partícula dentro de este régimen de flujo es igual al cuadrado de su velocidad dividido por el radio, con lo cual la reducción del radio a una quinta parte de su valor inicial implica multiplicar por 125 el valor de la fuerza centrífuga.

Debido a la magnitud de la fuerza centrífuga en la proximidad de la abertura de salida de las arenas, algunas partículas quedarán retenidas en el interior del vórtice libre mientras que otras escapan con el flujo de salida del aparato. Este diferente comportamiento de las partículas depende de su tamaño, densidad y resistencia al arrastre: las partículas de arena quedarán retenidas, mientras que las partículas orgánicas quedarán libres y saldrán del separador por la parte superior del mismo. Una partícula orgánica cuya velocidad de sedimentación sea del orden de magnitud de la de una partícula de arena suele ser entre cuatro y ocho veces más grande que ésta, con lo que las fuerzas de arrastre de las partículas orgánicas serán entre 16 y 64 veces Superiores.

Esto provoca que las partículas orgánicas tiendan a moverse solidarias con el fluido y sean transportadas fuera del separador. Las partículas retenidas en el vórtice acabarán sedimentando debido a la acción de la fuerza de la gravedad. En algunas ocasiones también sedimentan algunas partículas orgánicas, que suelen ser aceites y grasas unidos a partículas de arena. Las partículas que sedimentan en ese estrato son transportadas al centro del separador por la acción de la velocidad radial.

3.8.- Flotación.

La flotación es una operación unitaria que se emplea para la separación de partículas sólidas o líquidas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire, en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido. De esta forma, es posible hacer ascender a la superficie partículas cuya densidad es mayor que la del líquido, además de favorecer la ascensión de las partículas cuya densidad es inferior, como el caso del aceite en el agua.

En el tratamiento de aguas residuales, la flotación se emplea para la eliminación de la materia suspendida y para la concentración de los fangos biológicos. La principal ventaja del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que permite eliminar mejor y en menos tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta. Una vez las partículas se hallan en superficie, pueden recogerse mediante un rascado superficial.

3.8.1.- Descripción

La aplicación práctica de la flotación en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas se limita, en la actualidad, al uso del aire como agente responsable del fenómeno. Las burbujas se añaden, o se induce su formación, mediante uno de los siguientes métodos:

- Inyección de aire en el líquido sometido a presión y posterior liberación de la presión a que está sometido el líquido (flotación por aire disuelto).
- Aireación a presión atmosférica (flotación por aireación).
- Saturación con aire a la presión atmosférica, seguido de la aplicación del vacío al líquido (flotación por vacío).

En todos estos sistemas, es posible mejorar el grado de eliminación y rendimiento mediante la introducción de aditivos químicos.

3.8.2.- Flotación por aire disuelto.

En los sistemas FAD (Flotación por Aire Disuelto), el aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, y a continuación se libera la presión hasta alcanzar la atmosférica. En las instalaciones de pequeño tamaño, se puede presurizar a 275-230 kPa mediante una bomba la totalidad del caudal a tratar, añadiéndose el aire comprimido en la tubería de aspiración de la bomba. El caudal se mantiene bajo presión en un calderín durante algunos minutos, para dar tiempo a que el aire se disuelva. A continuación, el líquido presurizado se alimenta al tanque de flotación a través de una válvula reductora de presión, lo cual provoca que el aire deje de estar en disolución y que se formen diminutas burbujas distribuidas por todo el volumen de líquido.

En las instalaciones de mayor tamaño, se recircula parte del efluente del proceso de FAD (entre el 15 y el 120 por 100), el cual se presuriza, y se semisatura con aire. El caudal recirculado se mezcla con la corriente principal sin presurizar antes de la entrada al tanque de flotación, lo que provoca que el aire deje de estar en disolución y entre en contacto con las partículas sólidas a la entrada del tanque. Las principales aplicaciones de la flotación por aire disuelto se centran en el tratamiento de vertidos industriales y en el espesado de fangos.

3.8.3.- Flotación por aireación.

En los sistemas de flotación por aireación, las burbujas de aire se introducen directamente en la fase líquida por medio de difusores o turbinas sumergidas. La aireación directa durante cortos periodos de tiempo no es especialmente efectiva a la hora de conseguir que los sólidos floten. La instalación de tanques de aireación no suele estar recomendada para conseguir la flotación de las grasas, aceites y sólidos presentes en las aguas residuales normales, pero ha resultado exitosa en el caso de algunas aguas residuales con tendencia a generar espumas.

3.8.4.- Flotación por vacío.

La flotación por vacío consiste en saturar de aire el agua residual (1) directamente en el tanque de aireación, o (2) permitiendo que el aire penetre en el conducto de aspiración de una bomba. Al aplicar un vacío parcial, el aire disuelto abandona la solución en forma de burbujas diminutas. Las burbujas y las partículas sólidas a las que se adhieren ascienden entonces a la superficie para formar una capa de espuma que se elimina mediante un mecanismo de rascado superficial. La arena y demás sólidos pesados, que se depositan en el fondo, se transportan hacia un cuenco central de fangos para su extracción por bombeo. En el caso de que la instalación esté prevista para la eliminación de las arenas y si el fango ha de ser digerido, es necesario separar la arena del fango en un clasificador de arena antes del bombeo a los digestores.

3.9.- Filtración en medio Granular

A pesar de que la filtración es una de las principales operaciones unitarias empleadas en el tratamiento del agua potable, la filtración de efluentes procedentes de procesos de tratamiento de aguas residuales es una práctica relativamente reciente. Hoy en día, la filtración se emplea, de modo generalizado, para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión (incluida la DBO particulada) de los efluentes de los procesos de tratamiento biológicos y químicos, y también se emplea para la eliminación del fósforo precipitado por vía química.

El diseño de los filtros y la valoración de su eficacia debe basarse en:

- (1) la comprensión de las variables que controlan el proceso
- (2) el conocimiento del mecanismo, o mecanismos, responsables de la eliminación de materia particulada del agua residual.

Por consiguiente, el contenido de esta sección abarca los siguientes temas:

- (1) descripción de la operación de filtración
- (2) clasificación de los sistemas de filtración;
- (3) variables que gobiernan el proceso
- (4) mecanismos de eliminación de las partículas
- (5) análisis general de la operación de filtración

(6) análisis de la filtración de aguas residuales

(7) necesidad de estudios en planta piloto.

3.9.1.- Descripción de la operación de filtración

La operación completa de filtración consta de dos fases: filtración y lavado o regeneración (comúnmente llamada lavado a contracorriente). Mientras la descripción de los fenómenos que se producen durante la fase de filtración es, prácticamente, idéntica para todos los sistemas de filtración que se emplean para las aguas residuales, la fase de lavado es bastante diferente en función de si el filtro es de funcionamiento continuo o semicontinuo. Tal como expresan sus nombres, en los filtros de funcionamiento semicontinuo la filtración y el lavado son fases que se dan una a continuación de la otra, mientras que en los filtros de funcionamiento continuo ambas fases se producen de forma simultánea.

3.9.2.- Operaciones de filtración semicontinuas.

Se identifican tanto la fase de filtración como de lavado de un filtro convencional de funcionamiento semicontinuo. La fase de filtración en la que se elimina la materia particulada, se lleva a cabo haciendo circular el agua través de un lecho granular, con o sin la adición de reactivos químicos. Dentro del estrato granular, la eliminación de los sólidos en suspensión contenidos en el agua residual se realiza mediante un complejo proceso en el que intervienen uno o más mecanismos de separación como el tamizado, interceptación, impacto, sedimentación y adsorción.

El final del ciclo de filtrado (fase de filtración), se alcanza cuando empieza a aumentar el contenido de sólidos en suspensión en el efluente hasta alcanzar un nivel máximo aceptable, o cuando se produce una pérdida de carga prefijada en la circulación a través del lecho filtrante. Idealmente, ambas circunstancias se producen simultáneamente. Una vez se ha alcanzado cualquiera de estas condiciones, se termina la fase de filtración, y se debe lavar el filtro a contracorriente para eliminar la materia (sólidos en suspensión) que se ha acumulado en el seno del lecho granular filtrante. Para ello, se aplica un caudal de

agua de lavado suficiente para fluidificar (expandir) el medio filtrante granular y arrastrar el material acumulado en el lecho. Para mejorar y favorecer la operación de lavado del filtro, suele emplearse una combinación de agua y aire. En la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales, el agua de lavado, que contiene los sólidos en suspensión que se eliminan en el proceso de filtración, se retorna a las instalaciones de sedimentación primaria o al proceso de tratamiento biológico.

3.9.3.- Clasificación de los sistemas de filtración

Se ha proyectado y construido diversos modelos y sistemas de funcionamiento de filtros. Los principales tipos de filtros de medio granular se clasifican atendiendo a:

- (1) tipo de funcionamiento;
- (2) tipo de medio filtrante empleado;
- (3) sentido de flujo durante la fase de filtración;
- (4) procedimiento de lavado a contracorriente
- (5) método de control del flujo.

(1) Tipo de funcionamiento.

En relación con el tipo de funcionamiento, los filtros se pueden clasificar en continuos y semicontinuos. Los filtros semicontinuos se mantienen en funcionamiento hasta que se empieza a deteriorar la calidad del efluente o hasta que se produce una pérdida de carga excesiva en el filtro. Cuando se alcanza este punto, se detiene el filtro y se procede a su lavado para eliminar los sólidos acumulados. En los filtros continuos, los procesos de filtración y lavado se llevan a cabo de manera simultánea.

3.9.4.- Sentido del flujo durante la filtración.

Los principales tipos de filtros empleados para la filtración de efluentes de aguas residuales se pueden clasificar en filtros de flujo ascendente y filtros de flujo descendente. El más común es, con mucho, el filtro de flujo descendente.

Tipos de materiales filtrantes y configuración de los lechos filtrantes.

Los principales tipos de configuración de los lechos filtrantes empleados actualmente para la filtración de aguas residuales se pueden clasificar en función del número de capas de material filtrante, lo cual da lugar a los filtros de una única capa, los de doble capa y los filtros multicapa. En filtros de flujo descendente convencionales, los tamaños de los granos de cada capa se distribuyen, de menor a mayor, después del lavado a contracorriente. En los filtros que cuentan con más de una capa, el grado en que se mezclan los materiales de las diferentes capas depende de la densidad y de la diferencia de tamaños entre los granos del material que compone cada una de las capas.

Los lechos filtrantes de doble y triple capa, así como los de capa única profundos, se desarrollaron para permitir que los sólidos en suspensión presentes en el líquido a filtrar puedan penetrar a mayor profundidad dentro del lecho filtrante, con lo cual se aprovecha más la capacidad de almacenamiento de sólidos dentro del filtro. En cambio, en los filtros de capa única poco profundos, se ha podido comprobar que gran parte de la eliminación de sólidos en suspensión se produce en los primeros milímetros de la capa filtrante. El hecho de que los sólidos penetren a mayor profundidad, también permite ciclos de filtración más largos, puesto que se reduce el ritmo de aumento de las pérdidas de carga producidas.

3.9.5.- Presión actuante en la filtración.

Tanto la fuerza de la gravedad, como la creada por una presión aplicada, se pueden emplear para vencer la resistencia por fricción creada por el flujo que circula a través del lecho filtrante. Los filtros de gravedad del tipo indicado son los más comúnmente empleados en la filtración de efluentes tratados en plantas de tratamiento de gran tamaño. Los filtros a presión del tipo indicado funcionan igual que los de gravedad y se emplean en plantas pequeñas. La única diferencia entre ambos consiste en que, en los filtros a presión, la operación de filtrado se lleva a cabo en un depósito cerrado, bajo condiciones de presión conseguidas mediante bombeo. Los filtros a presión suelen funcionar con mayores pérdidas de carga.

máximas admisibles, lo cual conduce a ciclos de filtración más largos y a menores necesidades de lavado.

3.9.6.- Filtración a caudal constante.

En el proceso de filtración a caudal constante (véanse se controla el caudal de entrada o el caudal efluente para asegurar que el caudal que circula a través del filtro es constante. El control del caudal de entrada se realiza mediante vertederos o bombeo, mientras que el control del caudal efluente se lleva a cabo mediante la instalación de una válvula de accionamiento manual o automático. Al inicio del ciclo, gran parte de la fuerza actuante disponible se disipa en la válvula, que se encuentra casi cerrada. Al irse incrementando la pérdida de carga en el paso por el filtro, la válvula se va abriendo progresivamente. Dado que las válvulas de control necesarias son elementos caros y que se han producido diversos problemas de funcionamiento con estos elementos, se han desarrollado sistemas alternativos de control del caudal cuyo uso está más extendido, como los vertederos y los sistemas de bombeo

Filtración a caudal variable. En el proceso de filtración a caudal variable, el caudal que pasa a través del filtro va disminuyendo conforme aumenta la pérdida de carga. El control del caudal que circula por el filtro también se puede llevar a cabo, tanto a la entrada del filtro como a la salida. Cuando el caudal alcanza el valor del caudal mínimo de proyecto, se detiene el filtro y se procede a su lavado

3.9.7.- Variables del proceso de filtración

En la aplicación de la filtración para la eliminación de sólidos en suspensión remanentes, se ha comprobado que las variables más importantes del proceso de diseño son, posiblemente, la naturaleza de las partículas presentes en el agua a filtrar, el tamaño del material o materiales que componen el filtro, y el caudal de filtración.

3.9.8.- Características del agua a filtrar.

Las características más importantes del agua a filtrar son la concentración de sólidos en suspensión, el tamaño y la distribución de tamaños de las partículas, y la consistencia de los flóculos. Generalmente, la concentración de sólidos en suspensión en el efluente de plantas de fangos activados y de filtros percoladores varía entre 6 y 30 mg/l. Debido a que esta concentración suele ser el parámetro de mayor interés, para el control práctico del proceso de filtrado se suele emplear el valor de la turbidez. Se ha podido comprobar que, dentro de ciertos límites, existe una correlación entre la concentración de sólidos en suspensión en las aguas residuales tratadas y los valores medidos de la turbidez. Una expresión típica de la relación entre ambos parámetros en el caso de procesos de fangos activados con mezcla completa, es la siguiente:

$$\text{Sólidos en suspensión, SS, mg/l} = (2,3 \text{ a } 2,4) \times (\text{Turbiedad, NTU}) \quad (6.39)$$

La observación más significativa relacionada con el tamaño de las partículas consiste en que la distribución de tamaños resulta ser bimodal. Este hecho es importante, puesto que influye sobre los mecanismos de eliminación que puedan tener lugar durante la filtración. Por ejemplo, parece razonable suponer que el mecanismo de eliminación de partículas de 1 micra de tamaño será diferente del que consiga la eliminación de las partículas de 80 micras (o incluso mayores). El carácter bimodal de la distribución de los tamaños de las partículas también se ha observado en las plantas de tratamiento de aguas.

La consistencia de los flóculos, que no sólo varía con el tipo de proceso sino también con el modo de operación, es asimismo importante. Por ejemplo, los flóculos residuales de la precipitación química del agua residual tratada biológicamente pueden ser considerablemente más débiles que los flóculos biológicos antes de la precipitación. Además, la consistencia de los flóculos biológicos varía con el tiempo medio de retención celular, aumentando con él. El aumento de la consistencia es consecuencia, en parte, de la producción de polímeros extracelulares que se producen con el aumento del tiempo medio de retención celular. Para tiempos medios de retención celular extremadamente altos

(15 días o más), se ha observado una disminución de la consistencia de los flóculos.

3.9.9.- Características del medio filtrante.

La característica del medio filtrante que más afecta al proceso de filtración es el tamaño del grano. El tamaño del grano afecta tanto a la pérdida de carga en la circulación del agua a través del filtro como a la tasa de variación de dicho aumento durante el ciclo de filtración. Si el tamaño de grano efectivo del medio filtrante es demasiado pequeño, la mayor parte de la fuerza actuante se empleará para vencer la resistencia de fricción provocada por el lecho filtrante, mientras que si el tamaño efectivo es demasiado grande, muchas de las partículas de menor tamaño presentes en el agua a filtrar pasarán directamente a través del filtro sin ser eliminadas.

3.9.10.- Velocidad de filtración.

La velocidad de filtración es un parámetro importante por cuanto afecta a la superficie necesaria del filtro. Para una aplicación dada del filtro, la velocidad de filtración dependerá de la consistencia de los flóculos y del tamaño medio de grano del lecho filtrante. Por ejemplo, si los flóculos son de débil consistencia, las velocidades de filtración elevadas tenderán a romper los flóculos y a arrastrar gran parte de los mismos a través del filtro. Se ha observado que las velocidades de filtración dentro del intervalo de 4,8 a 19,2 m²/m²*h, no afectan la calidad del efluente del filtro, debido a la propia resistencia del flóculo biológico.

4.- Plantas de paquete y reactores.

Se han producido las plantas del paquete y los reactores de la hornada para utilizar menos espacio, tratar la basura difícil, ocuparse de flujo intermitente o alcanzar estándares ambientales más altos, un número de diseños de las plantas de tratamiento híbridas. Tales plantas combinan a menudo todas o por lo menos dos o tres etapas principales del tratamiento en una etapa combinada. En el Reino Unido, en donde una gran cantidad de plantas de tratamiento de aguas

residuales ayudan a poblaciones pequeñas, las plantas del paquete son una alternativa viable a las estructuras discretas del edificio para cada etapa de proceso.

Por ejemplo, un proceso que combina el tratamiento y el establecimiento secundarios es el reactor secuencial de la hornada (SBR). Típicamente, el fango activado se mezcla con las aguas residuales entrantes crudas, se mezcla y se airea. La mezcla que resulta, será un efluente de la alta calidad. El fango colocado es escurrido y re aireado antes de que una proporción se vuelva a los trabajos. Las plantas de SBR ahora se están desplegando en muchas partes del mundo incluyendo North Liberty, Iowa, y Llanasa, North Wales.

La desventaja de tales procesos es ese control exacto de la sincronización, el mezclarse y se requiere la aireación. Esta precisión es alcanzada generalmente por los controles de computadora ligados a muchos sensores en la planta. Un sistema tan complejo, frágil es inadecuado a los lugares en donde tales controles pueden ser no fiables, o mal mantenidos, o donde la fuente de alimentación puede ser intermitente.

Las plantas del paquete se pueden referir como el colmo cargado o punto bajo cargado. Esto refiere a la manera que se procesa la carga biológica. En altos sistemas cargados, la etapa biológica se presenta con una alta carga orgánica y el material combinado del flóculo y orgánico entonces se oxigena por algunas horas antes de ser cargada nuevamente. En el sistema cargado bajo la etapa biológica contiene una carga orgánica baja y se combina con el flóculo para un largo plazo, relativamente.

4.1.- El tratamiento de los fangos

Los sólidos primarios gruesos y los bio sólidos secundarios acumulados en un proceso del tratamiento de aguas residuales se debe tratar y disponer de una manera segura y eficaz. Este material a menudo se contamina inadvertidamente con los compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos (por ejemplo: metales pesados). El propósito de la digestión es reducir la cantidad de materia orgánica y

el número de los microorganismos presentes en los sólidos que causan enfermedades. Las opciones más comunes del tratamiento incluyen la digestión anaerobia, la digestión aerobia, y el abonamiento.

4.2.- La digestión anaeróbica.

La digestión anaeróbica es un proceso bacteriano que se realiza en ausencia del oxígeno. El proceso puede ser la digestión termofílica en la cual el fango se fermenta en tanques en una temperatura de 55 °C o mesofílica, en una temperatura alrededor de 36 °C. Sin embargo permitiendo tiempo de una retención más corta, así en los pequeños tanques, la digestión termofílica es más expansiva en términos de consumo de energía para calentar el fango.

La digestión anaerobia genera biogás con una parte elevada de metano que se puede utilizar para el tanque y los motores o las micro turbinas del funcionamiento para otros procesos en sitio. En plantas de tratamiento grandes, se puede generar más energía eléctrica de la que las máquinas requieren. La generación del metano es una ventaja dominante del proceso anaeróbico. Su desventaja dominante es la del largo plazo requerido para el proceso (hasta 30 días) y el alto costo de capital.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Goldbar en Edmonton, Alberta, Canadá utiliza actualmente el proceso. Bajo condiciones del laboratorio es posible generar directamente cantidades útiles de electricidad del fango orgánico usando bacterias electroquímicas activas naturales. Potencialmente, esta técnica podría conducir a una forma ecológica de generación de energía, pero para ser eficaz, una célula de combustible microbiana debe maximizar el área de contacto entre el efluente y la superficie bacteria-revestida del ánodo, lo que podría disminuir seriamente el rendimiento del proceso.

4.3.- La digestión aeróbica.

La digestión aeróbica es un proceso bacteriano que ocurre en presencia del oxígeno. Bajo condiciones aeróbicas, las bacterias consumen rápidamente la

materia orgánica y la convierten en el dióxido de carbono. Una vez que haya una carencia de la materia orgánica, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias. Esta etapa del proceso se conoce como respiración endógena. La reducción de los sólidos ocurre en esta fase. Porque ocurre la digestión aeróbica mucho más rápidamente, los costos de capital de digestión aerobia son más bajos. Sin embargo, los gastos de explotación son característicos por ser mucho mayores para la digestión aeróbica debido a los costes energéticos para la aireación necesitada para agregar el oxígeno al proceso.

4.4.- La composta o abonamiento.

El abonamiento o composta es también un proceso aeróbico que implica el mezclar de los sólidos de las aguas residuales con fuentes del carbón tales como aserrín, paja o virutas de madera. En presencia del oxígeno, las bacterias digieren los sólidos de las aguas residuales y la fuente agregada del carbón y, al hacer eso, producen una cantidad grande de calor. Los procesos anaerobios y aerobios de la digestión pueden dar lugar a la destrucción de microorganismos y de parásitos causantes de enfermedades a un suficiente nivel para permitir que los sólidos digeridos que resultan sean aplicados con seguridad a la tierra usada como material de la enmienda del suelo (con las ventajas similares a la turba) o usada para la agricultura como fertilizante a condición de que los niveles de componentes tóxicos son suficientemente bajos.

4.5.- La depolimerización termal.

La depolimerización termal utiliza pirólisis acuosa para convertir los organismos complejos reducidos al aceite. El hidrógeno en el agua se inserta entre los vínculos químicos en polímeros naturales tales como grasas, las proteínas y la celulosa. El oxígeno del agua combina con el carbón, el hidrógeno y los metales. El resultado es aceite, gases combustibles de la luz tales como metano, propano y butano, agua con las sales solubles, bióxido de carbono, y un residuo pequeño del material insoluble inerte que se asemeja a la roca y alcarbón pulverizado. Se destruyen todos los organismos y muchas toxinas orgánicas. Las sales

inorgánicas tales como nitratos y fosfatos siguen siendo en el agua después del tratamiento en los niveles suficientemente altos que el tratamiento adicional está requerido.

La energía de descomprimir el material se recupera, y el calor y la presión de proceso se acciona generalmente de los gases combustibles ligeros. El aceite se trata generalmente más lejos para hacer un grado ligero útil refinado del aceite, tal como algunos diésel y aceites de calefacción, y después se vende.

La elección de un método de tratamiento sólido de las aguas residuales depende de la cantidad de sólidos generados y de otras condiciones específicas del lugar. Sin embargo, generalmente el abonamiento es lo más a menudo posible aplicado a los usos en pequeña escala seguidos por la digestión aerobia y entonces la digestión anaerobia para grandes escalas como en los municipios.

4.6.- Deposición de fangos.

Cuando se produce un fango líquido, un tratamiento adicional puede ser requerido para hacerlo conveniente para la disposición final. Típicamente, los fangos se espesan (desechado) para reducir los volúmenes transportados para la disposición. Los procesos para reducir el contenido en agua incluyen lagunas en camas de sequía para producir una torta que pueda ser aplicada a la tierra o ser incinerada; el presionar, donde el fango se filtra mecánicamente, a través de las pantallas del paño para producir a menudo una torta firme; y centrifugación donde el fango es espesado centrífugo separando el sólido y el líquido. Los fangos se pueden disponer por la inyección líquida para aterrizar o por la disposición en un terraplén. Hay preocupaciones por la incineración del fango debido a los agentes contaminadores del aire en las emisiones, junto con el alto coste de combustible suplemental, haciendo esto medios menos atractivos y menos comúnmente construidos del tratamiento y de la disposición del fango.

No hay proceso que elimine totalmente los requisitos para la disposición de bio sólidos. En Australia del sur, después de la centrifugación, el fango entonces es secado totalmente por la luz del sol. Los bio sólidos ricos en nutrientes entonces

se proporcionan a los granjeros para utilizar como fertilizante natural. Este método ha reducido la cantidad de terraplén generada por el proceso cada año.

4.7.- La fotobiodepuración de aguas residuales.

La fotobiodepuración de aguas residuales es un proceso que implica la presencia de luz solar y organismos fotosintéticos para en el proceso de depuración. Generalmente la fotobiodepuración es llevada a cabo por microorganismos fotosintéticos, como microalgas y cianobacterias, en fotobioreactores, reactores específicamente diseñados para aprovechar la luz solar y favorecer el crecimiento de estos microorganismos.

4.8.- El tratamiento en el ambiente de recepción.

La introducción de aguas residuales que trata la planta influye en los procesos de muchos ríos pequeños, en una planta de tratamiento de aguas residuales se diseñan los procesos naturales del tratamiento que ocurren en el ambiente, si ese ambiente es un cuerpo natural del agua o la tierra. Si no se ha sobrecargado, las bacterias en el ambiente consumirán los contaminantes orgánicos, aunque ésta reducirá los niveles del oxígeno en el agua y puede cambiar perceptiblemente la ecología total del agua de recepción. Las poblaciones bacterianas nativas alimentan en los contaminantes orgánicos, y los números de microorganismos que causan enfermedades son reducidos por condiciones ambientales naturales tales como depredación, exposición a la radiación ultravioleta, etc. Por lo tanto en caso de que el ambiente de recepción proporcione un de alto nivel de la dilución, un alto grado del tratamiento de aguas residuales no puede ser requerido. Sin embargo, la evidencia reciente ha demostrado que los niveles muy bajos de ciertos contaminantes en aguas residuales, incluyendo las hormonas (de la agricultura animal y del residuo de píldoras humanas del control de la natalidad) y los materiales sintéticos tales como phthalates, pueden tener un impacto adverso imprevisible en el medio natural y potencialmente en seres humanos si el agua se reutiliza para el agua potable. En los E.E.U.U., las descargas incontroladas de las aguas residuales al ambiente no se permiten bajo ley, y los requisitos terminantes de la calidad del agua han de ser conocidos. Una amenaza significativa en las

décadas que vienen será las descargas incontroladas de aumento de las aguas residuales dentro de países en vías de desarrollo rápidamente.

4.9.- El déficit mundial del tratamiento.

Visto de una perspectiva mundial existe capacidad inadecuada del tratamiento de las aguas residuales, especialmente en países poco desarrollados. Esta circunstancia ha existido desde, por lo menos, los años 70 y es debido a la superpoblación, a la crisis del agua y al costo de construir sistemas de tratamiento de aguas residuales. El resultado del tratamiento inadecuado de las aguas residuales es aumentos significativos de la mortalidad (sobre todo) de enfermedades prevenibles; por otra parte, este impacto de la mortalidad es particularmente alto entre los infantes y otros niños en países subdesarrollados, particularmente en los continentes de África y de Asia. Particularmente, en el año 2000, las Naciones Unidas han establecido que 2.64 mil millones de personas tenían el tratamiento y/o disposición de las aguas residuales inadecuado. Este valor representó a 44 por ciento de la población global, pero en África y Asia aproximadamente la mitad de la población no tenía ningún acceso cualquiera a los servicios del tratamiento de aguas residuales.

5.- Potenciales impactos ambientales.

Los contaminantes de las aguas servidas municipales, o aguas servidas domésticas, son los sólidos suspendidos y disueltos que consisten en: materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, aceites y grasas, sustancias tóxicas, y microorganismos patógenos. Los desechos humanos sin un tratamiento apropiado, eliminados en su punto de origen o recolectados y transportados, presentan un peligro de infección parasitaria (mediante el contacto directo con la materia fecal), hepatitis y varias enfermedades gastrointestinales, incluyendo el cólera y tifoidea (mediante la contaminación de la fuente de agua y la comida). Cabe mencionar que el agua de lluvia urbana pueden contener los mismos contaminantes, a veces en concentraciones sorprendentemente altas.

Cuando las aguas servidas son recolectadas pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, existen los mismos peligros para la salud pública en las proximidades del punto de descarga. Si dicha descarga es en aguas receptoras, se presentarán peligrosos efectos adicionales (p.ej. el hábitat para la vida acuática y marina es afectada por la acumulación de los sólidos; el oxígeno es disminuido por la descomposición de la materia orgánica; y los organismos acuáticos y marinos pueden ser perjudicados aún más por las sustancias tóxicas, que pueden extenderse hasta los organismos superiores por la bio-acumulación en las cadenas alimenticias). Si la descarga entra en aguas confinadas, como un lago o una bahía, su contenido de nutrientes puede ocasionar la eutrofización, con molesta vegetación que puede afectar a las pesquerías y áreas recreativas. Los desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas servidas (grava, cerniduras, y fangos primarios y secundarios) pueden contaminar el suelo y las aguas si no son manejados correctamente.

Los proyectos de aguas servidas son ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes descritos anteriormente en cuanto al ambiente humano y natural. Cuando son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el ambiente es positivo.

Los impactos directos incluyen la disminución de molestias y peligros para la salud pública en el área de servicio, mejoramientos en la calidad de las aguas receptoras, y aumentos en los usos beneficiosos de las aguas receptoras. Adicionalmente, la instalación de un sistema de recolección y tratamiento de las aguas servidas posibilita un control más efectivo de las aguas servidas industriales mediante su tratamiento previo y conexión con el alcantarillado público, y ofrece el potencial para la reutilización beneficiosa del efluente tratado y de los fangos.

Los impactos indirectos del tratamiento de las aguas residuales incluyen la provisión de sitios de servicio para el desarrollo, mayor productividad y rentas de las pesquerías, mayores actividades y rentas turísticas y recreativas, mayor productividad agrícola y forestal o menores requerimientos para los fertilizantes químicos, en caso de ser reutilizado el efluente y los fangos, y menores

demandas sobre otras fuentes de agua como resultado de la reutilización del efluente.

De éstos, varios potenciales impactos positivos se prestan para la medición, por lo que pueden ser incorporados cuantitativamente en el análisis de los costos y beneficios de varias alternativas al planificar proyectos para las aguas servidas. Los beneficios para la salud humana pueden ser medidos, por ejemplo, mediante el cálculo de los costos evitados, en forma de los gastos médicos y días de trabajo perdidos que resultarían de un saneamiento defectuoso. Los menores costos del tratamiento de agua potable e industrial y mayores rentas de la pesca, el turismo y la recreación, pueden servir como mediciones parciales de los beneficios obtenidos del mejoramiento de la calidad de las aguas receptoras. En una región donde es grande la demanda de viviendas, los beneficios provenientes de proporcionar lotes con servicios pueden ser reflejados en parte por la diferencia en costos entre la instalación de la infraestructura por adelantado o la adecuación posterior de comunidades no planificadas.

A menos que sean correctamente planificados, ubicados, diseñados, construidos, operados y mantenidos, es probable que los proyectos de aguas servidas tengan un impacto total negativo y no produzcan todos los beneficios para los cuales se hizo la inversión, afectando además en forma negativa a otros aspectos del medio ambiente.

6.- Problemas socioculturales.

Las instalaciones de tratamiento requieren tierra; su ubicación puede resultar en la repoblación involuntaria. Es más, las obras de tratamiento y eliminación pueden crear molestias en las cercanías inmediatas, al menos ocasionalmente. A menudo, las tierras y los barrios elegidos, corresponden a los "grupos vulnerables" que son los menos capacitados para afrontar los costos de la reubicación y cuyo ambiente vital ya está alterado. Se debe tener cuidado de ubicar las instalaciones de tratamiento y eliminación donde los olores o ruidos no molestarán a los residentes u otros usuarios del área, manejar la reubicación con sensibilidad, e incluir en el plan de atenuación del proyecto, provisiones para

mitigar o compensar los impactos adversos sobre el medio ambiente humano. Si no se incluye estas consideraciones en la planificación del proyecto, existe el riesgo sustancial.

7.- Tecnología apropiada.

El concepto de la tecnología apropiada en los sistemas de agua servida, abarca dimensiones técnicas, institucionales, sociales y económicas. Desde un punto de vista técnico e institucional, la selección de tecnologías no apropiadas, ha sido identificada como una de las principales causas de fallas en el sistema. El ambiente de las aguas servidas es hostil para el equipo electrónico, eléctrico y mecánico. Su mantenimiento es un proceso sin fin, y requiere de apoyo (repuestos, laboratorios, técnicos capacitados, asistencia técnica especializada, y presupuestos adecuados). Aun en los países desarrollados, son los sistemas más sencillos, elegidos y diseñados con vista al mantenimiento, los que brindan un servicio más confiable. En los países en desarrollo, donde es posible que falten algunos ingredientes para un programa exitoso de mantenimiento, ésta debe ser la primera consideración al elegir tecnologías para las plantas de tratamiento y estaciones de bombeo.

En comunidades pequeñas y ambientes rurales, las opciones técnicas suelen ser más sencillas, pero las consideraciones institucionales se combinan con las sociales y siguen siendo extremadamente importantes. Las instituciones locales deben ser capaces de manejar los programas o sistemas de saneamiento; la participación comunitaria puede ser un elemento clave en su éxito. Son importantes las acostumbradas preferencias sociales y prácticas; algunas pueden ser modificadas mediante programas educativos, pero otras pueden estar arraigadas en los valores culturales y no estar sujetas al cambio.

La economía forma parte de la decisión de dos maneras. No es sorprendente que las tecnologías más sencillas, seleccionadas por su facilidad de operación y mantenimiento, suelen ser las menos costosas para construir y operar. Sin embargo, aun cuando no lo sean, como puede ser el caso cuando gran cantidad de tierra debe ser adquirida para los estanques de estabilización, un sistema

menos costoso que fracasa, finalmente sería más costoso que otro más caro que opera de manera confiable.

8.- Tratamiento de agua por procesos biotecnológicos.

El proceso natural de la limpieza del agua se consigue gracias a una bacteria que se alimenta de los desechos que contienen las aguas servidas. Gracias a esta bacteria, aparecen los sistemas de tratamiento de aguas por medios biológicos de biodigestión, donde por medio de diversos métodos se pone en contacto esta bacteria con el agua para acelerar el proceso natural. Utilizando una película fija de bacteria en diversas piezas de ingenierías distintas (estudiadas para tener mejor contacto con el agua a la hora de limpiarla) el agua se pone en contacto con la bacteria para provocar una biodigestión mucho más rápida que el proceso natural.

En presentación de rodillos, empaques, módulos o molinos, la película fija tiene el mismo propósito, la diferencia entre las tecnologías radica en la forma en la que se acelera el propio proceso natural y desde luego, en el espacio necesario para construir una planta de tratamiento de aguas con éstas características.

En comparación con otras tecnologías y métodos para la limpieza de las aguas residuales, la película fija es sin duda una de las opciones más fuertes gracias a su tamaño, fácil utilización, coste y espacio necesario para su construcción.

Bibliografía Citada

Ayers, R. S; D.W.Westcot. La calidad del agua en la agricultura.--Roma: FAO,-- 174p. Serie Riego y Drenaje, 29 Rev.1, 1987.

Cánova, J. y Cerdá, A. Efectos de la calidad del agua sobre la agricultura. Aguas residuales para riego. Agua y Futuro en la región de Murcia. Ed. Asamblea Nacional de Murcia. Murcia, 1995.

Feijin, A., Ravina, I., Shalhevet, J. Irrigation wiht treated sewage effluent. Management for environmental protection.Advanced Series in Agricultural Sciences. No. 17, 1991, p 6

Guardado, J. A. Análisis de los residuales de la ciudad de Santa Clara para su reutilización en el riego. Voluntad Hidráulica 27(83):2-9, 1990.

Hernández M. A.; Hernández L. A.; Galán M. P. Manual de Depuración Uralita: Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hata 20000 habitantes. Ed. Paraninfo s.a.: Madrid, 1996, 429p.

Hylsky, H. Riego con agua de desecho de las ciudades.--La Habana: Año del Primer Congreso, 1975, 183p.

Kutera, J. Utilización de aguas residuales en la agricultura en Polonia. Voluntad Hidráulica 22(66):59-64, 1985.

López P., S.J. Reutilización de las aguas residuales en el riego. Master en Ingeniería de Regadíos. Tomo IX. Madrid. CEDEX, 1997.

Moreno, J. Tratamiento de aguas residuales y su reutilización en el riego de los cultivos agrícolas de Ciudad de la Habana. I Seminario Aguas Residuales, 1997.

Olbertz, M. Untersuchungen über die Entwicklungstendenzen und Sorptionsfähigkeiten langjähriger genutzt Rieselanlagen, dissertation, Berlin, 1952.

Organización Mundial de la Salud. Directrices Sanitarias sobre el uso de aguas residuales en la Agricultura y Acuicultura World Health Organization. Ginebra: ed. OMS, 1989, pp 23-44.

Pescod, M. B. Wastewater treatment and use in agriculture, FAO: Irrigation and Drainage. 47. Roma, 1992.

Ravina, I.; E. Paz; Z. Sofer; A. Marcu; A. Shisha; G. Sagi. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. Irrigation Science 13(3):129-139, 1992

Vaisman, I.; J. Shalhevet; T. Kipnis and A. Feijin. Water Regime and Nitrogen Fertilization for Rhodes Grass Irrigated with Municipal Waste Water on Sand Dun Soil: J. Environ. Qual. 11:920: 1982.

Aaronson, S., Berner, T. y Dubinsky, R. Microalgae as a source of chemicals and natural products. In: Shelef, G. y Soeder, C. J. (Eds). Algal biomass. Elsevier. North Holland. Amsterdam. 1980

Burlew, J. S. Algal culture from laboratory to pilot plant. Carnegie Institution of Washington pub. Washington. 2001

Collazos, C. J. 1990. Tratamiento de aguas residuales domésticas en Bucaramanga (Colombia), mediante reactores UASB y lagunas facultativas. En: Memorias de las Conferencias sobre: Tratamiento anaerobio de Aguas Residuales de América Latina. Ciudad Universitaria, México, D.F., 1990

- Cuervo, F. H. Generalidades sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales. Manual de Curso "Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales. Microbiología y Bioquímica". Medellín, Colombia. 1988.
- Chamy, M. R. y Alkalay, L. D. La tecnología de la digestión anaerobia en Chile. En: Memorias de las Conferencias sobre: Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina. Ciudad Universitaria, México D.F. 1990.
- De la Noue, J. Ni Eidhin, D. Improved performance of intensive semicontinuous cultures of *Scenedesmus* by biomass recirculation. *Biotechnology and Bioengineering*. 1988.
- Edwards, P. The harvest of microalgae from the effluent of a sewage feed high rate stabilization pond by *Tilapia nilotica*. Part. 2 Studies of the fish ponds. *Aquaculture*. 1981.
- García, J. Marco de referencia sobre el tratamiento de aguas residuales en México. En: Memorias de las conferencias sobre: Tratamiento anaerobio de Aguas Residuales en América Latina. Ciudad Universitaria, Mexico, D.F. 1990
- Goldman, J. J. Outdoor algal mass culture I. Applications. *Water Research* 1979.
- Hellebest, J. D. Extracellular products. In: Stewart, W.D.(Ed.) *Algal physiology and biochemistry*. Blackwell Sci.Pub. Oxford. 1974.
- Hulshoff-Pol, L.W., J. J. M. Van de Worp, G. Lettinga, W.A. Beverloo. Physical characterization of anaerobic granular sludge in: *Anaerobic treatment. A Grown-up technology aquatech*. 1986
- Humenik, F. J. y Hanna G. P. 1971. Algal-bacterial symbiosis for removal and conservation of wastewater nutrients. *Journal WPCF*.

- Manso, V.S.M. Domestic sewage treatment by UASB reactor in Brazil. En: Memorias de las conferencias sobre: Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales de América Latina. Ciudad Universitaria, México D.F. 1990.
- Materassi, R., Paoletti, C., Balonni, W. y Florenzano, G. Some considerations on the productions of lipid substances by microalgae and cyanobacteria. In: Shelef, G. and Soeder, J.C. (Eds). Algal biomass. Elsevier. North Holland. Amsterdam 1980.
- Noyola, A. Tratamiento anaerobio de aguas residuales: una experiencia de adaptación de tecnología en México. En: Memorias de las Conferencias sobre: Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina. Ciudad Universitaria, México D. F. 1990.
- Noyola, A. Los procesos anaerobios en el tratamiento de aguas residuales. En: I Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera. Xalapa, Ver. Mexico. 1989.
- Oswald, W. J. Light conversion efficiency in photosynthetic oxygenation IER. Series 44. Sanitary Engr. Res. Lab. Univ. Calif. Berkeley, 1969,
- Pieterse, A. J. H., Leroux, J. y Toerien, F. The cultivation of algae using waste water from field lots. Water S. A. 1982.
- Ramos A., Salazar M., Ríos A., Díaz A. Utilización de microalgas en el tratamiento biológico de efluentes secundarios. En: Memorias del VII Congreso Nacional "La Ingeniería Ambiental y la Salud" Oaxaca. Oax. 1990
- Ramos, A. y Salazar, M. Tratamiento biológico de efluentes con cultivos microalgales de clorofitas. En: I Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera. Xalapa, Ver. México. 1989.
- Redalje, D. G. et al. Algae as ideal waste removers: biochemical pathways. In: Biotreatment of agricultural wastewater. C. R. C. Press. Florida, 1989.

- Richmond, A. y Reiss, K. P. The biotechnology of algal culture. Interdisciplinary Science Reviews, 1980.
- Richmond, A. Phototrophic microalgae, pp.111-143 In: Delleweg, H. Ed. Biotechnology Vol. 3 Verlag-chemie. Weinheim, 1983.
- Salazar González, M. Cultivo y producción de microalgas: desarrollo de una tecnología limpia. En: Biodegradación de compuestos orgánicos industriales Coordinación de Bioprocesos Ambientales. Instituto de Ingeniería UNAM. Cd. Universitaria. México, D. F. 1996.
- Salazar González, M. Aplicación e importancia de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales. Contactos, 2006.
- Solórzano, L. Determination of ammonia in natural water by the phenol-hypochlorite method. Limnology and Oceanography, 1969.
- Soubes, M. y Muxi, L. Ensayos para la evaluación del potencial metanogénico de inóculos y efluentes. En Memorias de las conferencias sobre: Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina. Ciudad Universitaria, México, D. F. 1990.
- Tripathi, B. D. y Shukla, S. C. Biological treatment of wastewater by selected aquatic plants. Environmental Pollution, 1991.
- Valdés, J. M. E., Obaya, A. M. C., y Ramos, A. J. Experiencias cubanas en el proceso de digestión anaerobia con el uso de reactores UASB. En: Memorias de las Conferencias sobre: Tratamiento anaerobio de Aguas Residuales. Ciudad Universitaria, México, D.F. 1990.