



## Gestión de Aguas Residuales y Reutilización.

### Máster en Ingeniería y Gestión del Agua

Curso 2015/2016

**PROFESOR  
DAVID CASERO RODRÍGUEZ**



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, Nocomercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

## Índice

<b>1. Problemática por la contaminación del medio hídrico .....</b>	<b>4</b>
1.1. Introducción .....	4
1.2. Efectos de los vertidos .....	9
1.3. Índices de Calidad de las Aguas.....	12
1.4. Capacidad de autodepuración .....	18
<b>2. Medida y Caracterización de los contaminantes .....</b>	<b>21</b>
2.1. Aguas naturales .....	21
2.2. Aguas residuales .....	25
2.3. Contaminantes físicos .....	26
2.4. Contaminantes químicos.....	35
2.5. Composición del agua residual urbana .....	45
2.6. Composición del agua residual industriales.....	45
<b>3. Procesos y operaciones unitarias .....</b>	<b>47</b>
3.1. Clasificación de los sistemas de tratamiento .....	48
3.2. Tratamientos Físicos .....	51
3.3. Tratamientos Biológicos .....	53
3.4. Tratamientos Químicos .....	54
3.5. Tratamiento de fangos.....	57
<b>4. Regulación y homogeneización.....</b>	<b>59</b>
4.1. Objetivos del proceso de regulación y homogeneización .....	59
4.2. Regulación del caudal.....	60
4.3. Homogeneización del influente.....	63
4.4. Normas generales de diseño .....	65

<b>5. Procesos unitarios .....</b>	<b>67</b>
5.1. Desbaste .....	67
5.2. Desarenado .....	69
5.3. Separación de grasas y aceites .....	71
5.4. Decantación .....	72
5.5. Flotación.....	75
5.6. Procesos biológicos.....	76
5.7. Tratamientos no convencionales.....	78
5.8. Lodos activos.....	84
5.9. Filtros percoladores .....	86
5.10. Procesos anaerobios .....	88
5.11. Coagulación-floculación.....	90
5.12. Neutralización .....	92
5.13. Precipitación.....	94
5.14. Reacciones de oxidación-reducción .....	95
5.15. Tratamiento de fangos .....	97

## 1. Problemática por la contaminación del medio hídrico

### 1.1. Introducción

El problema de la contaminación del medio hídrico, a pesar de existir referencias históricas desde la antigüedad, ha alcanzado unos niveles máximos en los últimos tiempos, poniendo en grave peligro el futuro de la humanidad debido por un lado al gran crecimiento industrial así como a la evolución demográfica (la población mundial se ha duplicado entre 1950 y final de siglo, superando los 6.000 millones de habitantes).

El problema se acentúa por la concentración, tanto industrial como humana en áreas muy delimitadas, así se tiene que la mayor parte de la población tanto mundial como española, es urbana en la actualidad.

Hasta hace relativamente poco tiempo, los vertidos producidos por los asentamientos urbanos y por la escasa industria existente, podían ser asimilados por los cauces receptores, de tal forma que a través de los procesos de dilución y autodepuración natural de dichos cauces, en espacios y tiempos delimitados, las aguas volvían a adquirir unas características lo suficientemente aceptables como para poder ser reutilizadas por otros posibles usuarios del cauce público.

En la actualidad, los vertidos producidos son en muchos casos de tal importancia, que la capacidad de dilución y autodepuración del cauce no son suficientes, deteriorándose de tal forma la calidad del mismo, que imposibilita la reutilización del agua posteriormente.

Antes de continuar se debería definir que se entiende por contaminación del medio hídrico. Las posibles contestaciones variarán en función de la formación de las personas que contestasen, dando más relevancia a distintos aspectos de la misma, como podría ser: la transmisión de enfermedades, los efectos sobre la fauna y flora, la pérdida de calidad del agua o del cauce receptor, etc.

De forma global, se podría definir la contaminación del medio hídrico, como cualquier alteración de las características de tipo físico, químico, biológico, o simplemente estéticas, producidas por la actividad del hombre, ya sea de forma directa o indirecta sobre el agua.

Podría definirse por Ingeniería Ambiental (referida al medio hídrico), como el conjunto de procesos y operaciones unitarias, encaminadas al tratamiento y depuración de las aguas residuales,

tanto urbanas como industriales, antes de su vertido a un cauce receptor, con el fin de evitar al máximo cualquier alteración de las características del mismo, siendo el objetivo final de esta rama de la tecnología la protección de los recursos hídricos.

De forma global, los orígenes más importantes de la contaminación del medio hídrico, son entre otros:

- Causas naturales:
  - Fenómenos meteorológicos.
  - Arrastres.
  - Disoluciones.
  - Vida natural.
- Núcleos de población:
  - Aguas sanitarias.
  - Servicios (centros comerciales, hospitales...).
  - Industria ubicada en los cascos urbanos.
  - Ganadería estabulada.
- Industria:
  - Aguas de proceso.
  - Transporte de materiales.
  - Limpieza.
  - Aguas sanitarias.
  - Refrigeración.
- Explotaciones ganaderas.
- Origen difuso:
  - Ganadería en libertad.
  - Agricultura (abonos, fitosanitarios, etc.).

- Minería.
- Otros.

De forma habitual, en muchas ocasiones cuando se habla de la contaminación del medio hídrico, esta se adjudica casi en exclusiva a la actividad industrial, olvidando esa otra gran fuente de contaminación que son los núcleos de población, existiendo en nuestro país hasta hace muy poco tiempo, un número muy importante de municipios de elevada población sin las adecuadas instalaciones de depuración de sus aguas residuales.

Desde el punto de vista industrial, las diferentes Administraciones con competencias en este campo (Unión Europea, Estado Español, Comunidades Autónomas y Ayuntamientos), están regulando continuamente la cantidad y composición de los efluentes que las distintas industrias pueden verter a los cauces y colectores, lo que conlleva que el sector industrial estudie cada vez más cuidadosamente la reducción y el tratamiento de los efluentes que puedan producirse en sus instalaciones productivas.

Si se tiene en cuenta que el sistema más económico de depuración es no producir contaminación, la lucha contra la producida por la industria, se debería realizar desde su origen, dejando las instalaciones final de línea para aquellas fracciones que no han podido solucionarse previamente, de tal forma que se consiga producir más y mejor, con una generación de aguas residuales nula o mínima, adoptando para ello lo que se ha definido como “tecnologías limpias”.

Entre las técnicas utilizadas para conseguir los fines anteriormente indicados, se encuentran:

- Utilización de procesos de fabricación limpios o con mínimos consumos de agua.
- Optimización del consumo de agua, materias primas, energía, etc.
- Modificaciones de equipos y procesos productivos o bien en su forma operativa, de tal forma que generen menor contaminación.
- Mejoras en el mantenimiento.
- Reutilización y reciclado.

Podría preguntarse si las tecnologías limpias costarán mucho dinero. Costarán bastante. Lo que haga falta. Pero ¿cuánto vale no acabar con la vida en la Tierra?

Por otra parte, el porcentaje de aguas depuradas correspondiente a núcleos de población en nuestro país es bajo, máxime si se tiene en cuenta la Directiva 91/271 CEE, (transpuesta en 1995 a la legislación española, RD-Ley 11/1995 publicado en el BOE 30.12.95) que obliga a todos los estados miembros a cumplir una serie de objetivos con plazos determinados para los vertidos que se realicen a través de colectores municipales y que se indican a continuación de forma resumida:

- 1 diciembre 1998. Deberán disponer de sistema de colectores y de un sistema de tratamiento que elimine incluso nutrientes todas las aglomeraciones urbanas de más de 10.000 habitantes equivalentes y que viertan a zonas sensibles.

- 31 diciembre 2000. Deberán disponer de planta depuradora con tratamiento biológico o equivalente, todas los núcleos urbanos con una población equivalente de más de 15.000 hab-eq.

- 31 diciembre 2005. En esta fecha deberán disponer de sistema de colectores las poblaciones entre 2.000 y 15.000 hab-eq, y de plantas depuradoras con tratamiento biológico o proceso equivalente las aglomeraciones que se encuentren entre 10.000 y 15.000 hab-eq, así como las comprendidas entre 2.000 y 10.000 hab-eq y viertan en aguas continentales o estuarios. Las que tengan menos de 2.000 hab-eq y viertan a aguas continentales o estuarios, o tengan menos de 10.000 hab-eq y viertan en aguas marítimas, dispondrán de un tratamiento adecuado para sus aguas residuales.

Es muy importante destacar que la mencionada Directiva Europea se refiere a habitantes-equivalentes, definiendo el mismo como la generación de:

- 60 g /día de DBO (materia orgánica biodegradable).

Lo que supone que a la contaminación originada directamente por la población, habrá que añadirle la generada por la industria, servicios y ganadería estabulada que vierta a colector municipal. Esto lleva consigo, que la población equivalente española que vierte sus aguas residuales a través de colectores municipales supere en la actualidad los 80 millones de habitantes equivalentes, de los cuales 68 se ven afectados por la mencionada directiva.

La distribución de la carga contaminante correspondiente a núcleos de población en el año 2010 era la siguiente:

- Población de hecho: 49%.
- Población estacional: 15%.
- Carga industrial urbana: 36%.

Con referencia a la contaminación producida por los asentamientos urbanos en España, según datos recogidos en la página web del MAGRAMA, el estado de la depuración de las aguas procedentes de los núcleos urbanos, era la siguiente:

- Conforme. Habitantes equivalentes cuyos vertidos se tratan adecuadamente según la Directiva Comunitaria, 70,62%.
- No conforme en construcción. Habitantes equivalentes cuyos vertidos no se tratan adecuadamente, pero se están realizando obras de infraestructura para tratarlos, 6,94%.
- No conforme. Población equivalente cuyos vertidos no se tratan o lo hacen insuficientemente, 22,44%.

A la vista de los datos indicados anteriormente, falta mucho por recorrer, pero no es menos cierto el largo camino realizado, pues en el año 1970 se trataba escasamente el 10% de las aguas urbanas y no siempre con los límites de calidad precisos fijados en la actualidad.

Según cálculos del Plan Nacional de Calidad de Aguas (2.010), se requiere para alcanzar los objetivos previstos en la Directiva 271/91/CEE, una inversión próxima a los 11.500 millones de euros.

Por Comunidades autónomas, Andalucía es la que precisa mayores inversiones, con una cifra próxima a 2.100 millones de euros, seguida por Castilla y León y Cataluña.

La distribución del tratamiento por regiones no es homogénea, siendo la Comunidad de Madrid la de mayor grado de cumplimiento con casi el 100% de su población equivalente (2005) y en estos momentos seguida de Baleares y Canarias, encontrándose en el lado opuesto Cantabria y La Rioja.



Si la contaminación de las aguas continentales es importante, no se debe olvidar el litoral, pues sobre el mismo se encuentra asentada el 58% de la población de derecho española (22.000.000 habitantes), incrementada en los meses estivales por la mayor parte del turismo que se recibe, así como del 65% de la industria.

Con respecto a la contaminación hídrica de origen industrial, las inversiones precisas para adecuar sus vertidos a la normativa actualmente vigente, según diversos estudios (1998) varían entre los 7.200 y 9.000 millones de euros, con sectores como el agroalimentario, que ronda los 1.200 millones de euros.

En nuestro país se generan aproximadamente 300.000 vertidos, de los cuales 240.000 (80%) se realizan a través de las redes de colectores urbanos y el resto (60.000, el 20%) directamente al medio receptor. De estos últimos, aproximadamente 50.000 son de actividades productivas y 10.000 de núcleos urbanos.

## 1.2. Efectos de los vertidos

### Introducción

Los efectos nocivos que la polución de un cauce produce son múltiples, entre los más importantes cabe destacar:

- Propagación de enfermedades transmisibles por vía hídrica. Es importante tener en cuenta que en los países denominados del "tercer mundo" el 70% de las enfermedades y el 30% de los

fallecimientos se producen por enfermedades transmitidas por el agua, al consumir la misma de forma inadecuadamente tratada.

- Acción tóxica y carcinogénica.
- Inutilización para uso humano directo posterior ya que va a requerir unos procesos de potabilización complejos y de coste muy elevado.
- Incidencia sobre la producción de productos alimenticios.
- Reducción de las posibilidades de su empleo industrial y agropecuario posterior.
- Limitación del uso del agua con fines recreativos.
- Efectos nocivos sobre la fauna y flora del cauce receptor, pudiendo llegar a causar la desaparición de determinadas especies.

Las aguas residuales, tanto las de origen industrial como las de origen doméstico, al verterlas en el cauce de un río provocan una alteración en los equilibrios físicos, químicos y biológicos del agua. Ahora bien, si éste agua que se vierte ha sido previamente tratada o depurada, el impacto que producirá será menor que si se vierte cruda, y tanto menor cuanto más completo haya sido el tratamiento.

**El grado de tratamiento de un agua residual, debe estar de acuerdo con:**

- Características del cauce receptor.
- Relación de caudales entre el cauce receptor y el vertido.
- Estado de las aguas del río.
- Utilización por parte de otros usuarios del receptor aguas abajo del vertido.
- Posibilidad de tomas de aguas próximas.
- Balance hídrico de la zona.
- Fauna y flora tanto del cauce como del entorno.
- Otros.

De lo anteriormente indicado se deduce la importancia del conocimiento del receptor, para poder saber en todo momento la carga contaminante que el río puede admitir, sin llegar a sufrir un desequilibrio irreversible o importante.

La polución de las aguas provoca una sucesión de acontecimientos indeseables fáciles de observar en un cauce receptor, donde los tipos de procesos que tienen lugar en una zona determinada, se pueden controlar y medir desde el punto donde se realizó el vertido del agua residual que originó la contaminación.

Según lo anterior, se puede dividir un río polucionado en cuatro tramos o zonas bien definidas, correspondientes a las cuatro fases más importantes que se observan en el mismo. Estas zonas son:

#### **Zona de degradación.**

Se inicia la descomposición de la materia orgánica bajo la actividad bacteriana, siendo sustituidas las formas superiores de vida por formas inferiores más tolerantes.

Las aguas en esta zona tienen aspecto sucio disminuyendo rápidamente el contenido de oxígeno disuelto.

#### **Zona de descomposición activa.**

Se produce desprendimiento de gases, pudiendo llegar a producirse ausencia de oxígeno disuelto y condiciones sépticas.

Las aguas tienen un aspecto pardusco o negro, apareciendo lodos flotantes, y desprendimiento de gases, con generación de olores desagradables debidos a la presencia entre otros compuestos de sulfuro de hidrógeno.

La descomposición que tiene lugar de la materia orgánica como consecuencia de la ausencia de oxígeno es anaerobia.

#### **Zona de recuperación.**

El agua va adquiriendo gradualmente sus condiciones normales como consecuencia de la oxidación de la materia orgánica a costa del oxígeno disuelto en el agua transferido desde la atmosfera, y del liberado por la acción fotosintética de los vegetales, fundamentalmente las algas.

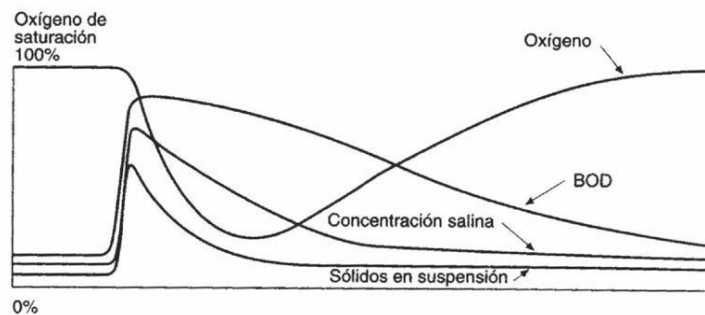
Tiene una actividad inversa a la zona de degradación, alcanzando mayor longitud.

Las aguas se van volviendo más claras, reapareciendo los vegetales verdes y formas de vida superior que desaparecieron en la fase de degradación, elevándose el contenido de oxígeno disuelto progresivamente hasta alcanzar su contenido normal próximo a saturación.

### Zona de aguas limpias.

Las características de las aguas son casi similares a las de las aguas limpias naturales, existiendo en su seno la vida animal y vegetal que son normales en las corrientes que padecen solamente la polución natural o geoquímica.

En la figura adjunta, se muestra la variación de una serie de parámetros en el cauce receptor, aguas abajo de un vertido de agua residual.



### 1.3 Índices de Calidad de las Aguas

Para poder definir y cuantificar el estado de un cauce se puede recurrir a:

- Tablas que fijan los estándares de calidad para cada uno de los parámetros analíticos a considerar.
- Definición de un índice de Calidad que englobe, en un solo valor numérico, el conjunto de diferentes parámetros analíticos.

Ambos sistemas tienen diferentes ventajas, siendo complementarios entre sí, aunque la importancia de los índices de calidad, es la cuantificación de acuerdo a una escala predeterminada de la situación del cauce y, en consecuencia, su comparación con situaciones pasadas o futuras, o bien entre diferentes tramos del mismo, aunque su mayor inconveniente es la pérdida de los valores analíticos correspondientes de cada uno de los parámetros contemplados.

Se podría definir un índice de calidad de las aguas, como un número adimensional, obtenido por combinación o en función de los datos analíticos de una muestra, que reflejen la calidad de la misma en orden a su utilización posterior y que permita su comparación con los que se obtengan de otras muestras.

La EPA define cuatro grupos diferentes de índices de calidad:

- Índices generales de calidad.
- Índices específicos en función de los usos del agua del cauce.
- Índices para planificación.
- Índices para estudios estadísticos.

Para la definición de un índice de calidad se precisa de las siguientes etapas:

A. Selección de los diferentes parámetros analíticos que se van a incluir en el índice.

Los aspectos más importantes en la determinación de los parámetros a incluir en un índice son:

- Efecto real del parámetro seleccionado en la calidad del cauce

- Efecto indicador del mencionado parámetro.
- Los tipos de contaminación que se pueden originar en el cauce.
- Límites de la normativa.
- Evitar la redundancia.
- Recoger un número reducido con el fin de que el índice sea sensible a sus alteraciones.
- Facilidad analítica y exactitud del mismo.
- Su presencia en concentraciones peligrosas para el ecosistema o usuarios.
- Consideraciones económicas.

B. Transformación de los valores analíticos de los parámetros analizados en una unidad de calidad común a todos ellos, de tal forma que permita su tratamiento matemático posterior mediante el algoritmo de cálculo correspondiente.

Como los diferentes valores analíticos obtenidos de los parámetros analizados no son homogéneos y en consecuencia difíciles de comparar, es preciso la transformación de los resultados analíticos en valores uniformes y adimensionales.

C. Combinación de todas las unidades de contaminación correspondientes a cada uno de los parámetros contemplados en un índice del conjunto, definiendo el peso de cada uno de ellos en función de su importancia, y englobándolos mediante determinadas fórmulas matemáticas de agregación.

El peso que cada contaminante va a tener en el algoritmo de cálculo va a depender fundamentalmente de la influencia que ese parámetro tenga en la calidad del agua.

Los pesos de cada uno de los parámetros se suelen definir en una escala entre uno y cuatro, correspondiendo a muy importante, importancia media, poco importante y poco significativo.

D. Definición de la escala de calidad de tipo numérico (normalmente entre 1 y 100), con diferentes límites a fijar en función del uso del recurso, como abastecimiento público, calidad y cantidad

de la fauna y flora, presente, recreativo, empleo para riego en agricultura, actividades industriales, etc.

Los rangos de los índices se pueden subdividir en zonas o tramos que correspondan a calidad excelente, buena, intermedia, admisible e inadmisibles.

Por otra parte y de acuerdo con la definición de contaminación del medio hídrico como cualquier alteración de sus características físicas, químicas, biológicas o simplemente estéticas, el número de parámetros que se podrían considerar es muy elevado, lo que conlleva a una selección de los más representativos y en consecuencia a la aparición de numerosos índices de calidad.

Los primeros índices de calidad aparecieron a mediados de la década de los años sesenta y en 1978 la EPA contabilizó más de veinte solo en EEUU, superando la centena en esas mismas fechas en todo el mundo.

Dentro de los diferentes parámetros incluidos en los índices de calidad, los más representativos y utilizados se encuentran:

- Oxígeno disuelto.

La concentración de oxígeno va a determinar no sólo la calidad del cauce sino también la cantidad y calidad de las diferentes especies de fauna y flora presentes en el medio, pudiendo llegar a ser un factor limitante.

- Concentración de materia orgánica oxidable por vía bioquímica (DBO5).

En algún índice se sustituye este parámetro por la materia orgánica oxidable por vía química (DQO), por ser mucho más fácil su determinación analítica, aunque su representatividad es considerablemente menor.

La DBO5 va a determinar el consumo vía bioquímica del oxígeno presente en el cauce, lo que está indicando la evolución de este elemento en un futuro próximo.

- Temperatura. La solubilidad de los gases y, en consecuencia, del oxígeno en el agua, es función de la temperatura, por lo tanto el valor de este parámetro va a incidir de forma directa en la cantidad de oxígeno disponible.

- Amonio. Este compuesto es característico de contaminación por aguas residuales de tipo urbano. Al no ser una forma estable, en el cauce se producirá su oxidación vía bioquímica a nitrito y posteriormente a nitrato.

En algunos índices el amonio es sustituido por nitrato.

- Salinidad o concentración de sales disueltas en el agua.

Este parámetro en algunos índices es incluido como conductividad, debido a su facilidad de análisis y la correlación existente entre ambos.

- pH
- Gérmenes patógenos, usando de forma generalizada el recuento de coliformes.

Otros parámetros que aparecen en algunos índices son fosfatos, detergentes, color, sólidos totales o en suspensión, turbidez, grasas y aceites, etc.

La calidad de las aguas en España, entre otras formas, se controla mediante Índice de Calidad General (ICG), formado por 23 parámetros analíticos, de los cuales 9 son básicos o fundamentales a determinar en todas las actuaciones, mientras que el resto son complementarios, a utilizar en casos concretos.

Mediante la aplicación de un algoritmo matemático, se obtiene un valor entre uno y cien para el ICG, con la siguiente escala de calidad:

ICG	CALIDAD DEL AGUA
85-100	Excelente
75-85	Buena
65-75	Regular
50-65	Deficiente
<50	Mala

Independientemente de los indicadores de calidad de las aguas comentados con anterioridad basados en parámetros físicos y químicos de las aguas, existen otros indicadores de tipo biológico o bioindicadores, de tal forma que la presencia de determinadas especies, así como la importancia de su población, den una idea de la situación del cauce.



Cuando en un cauce se produce un vertido de agua residual ya sea de origen urbano o industrial, aparece en su composición determinados compuestos contaminantes, que alteran las condiciones del medio y en consecuencia se puede producir un impacto sobre los diferentes seres vivos que componen ese ecosistema.

No toda la fauna y flora presentes en el receptor de un vertido, disponen de la misma capacidad de tolerancia o aclimatación a las nuevas condiciones del medio, tanto cualitativas (distintos contaminantes) como cuantitativas (concentración), lo que puede dar origen a la desaparición de aquellos que no toleren las nuevas condiciones o bien, disminución de la presencia de algunos de ellos, mientras que otras especies pueden llegar a aclimatarse a la nueva situación, llegando incluso a aumentar su población al desaparecer sus depredadores naturales.

Los indicadores biológicos tienen una gran importancia en aquellos casos en que:

- No existe un factor de contaminación principal fácilmente detectable o cuantificable.
- Efecto sinérgicos que puedan tener lugar entre diferentes contaminantes (por ejemplo amonio-pH).
- Los indicadores biológicos presentan una respuesta duradera en casos de contaminación puntual o intermitente, no detectable vía química sino se toma la muestra en ese momento.

Los indicadores biológicos dan una información muy valiosa de lo que está ocurriendo de forma real en el cauce, y de las características del mismo, aunque presentan el problema de no precisar el compuesto generador de la contaminación ni su concentración.

Los indicadores biológicos se basan en:

- Presencia de los organismos seleccionados como indicadores.
- Cuantificación de los mismos.

La escala de cuantificación viene dada por:

- Individuo aislado.
- Pocos.
- Pocos / medios.
- Medios.
- Medios / muchos.
- Muchos.
- Muy abundantes.

Dentro de los índices biológicos entre los más utilizados se encuentran aquellos que se basan en la determinación de invertebrados que en su estado larvario alcanzan un tamaño superior a 3 mm y que se encuentran en cualquier zona del cauce, incluyendo fundamentalmente a larvas de insectos, moluscos, crustáceos, etc.

En general, al aplicar los índices de calidad, se ha adoptado la costumbre de considerar a los componentes inorgánicos menos significativos que a los orgánicos, lo cual en cierto modo es verdad siempre que se trate de elementos no tóxicos o inhibidores, ya que aquellos alteran menos la composición del agua desde el punto de vista sanitario, criterio que en la mayoría de los casos tiene prioridad, aunque dentro de los compuestos inorgánicos hay algunos de gran importancia, por su toxicidad y las gravísimas consecuencias sobre la cadena alimenticia, como pueden ser los metales pesados.

El criterio a seguir para escoger en cada caso un índice u otro lo da fundamentalmente la experiencia de acuerdo con la procedencia de la contaminación y el destino que se le vaya a

dar al agua. Hay que advertir que ningún índice es satisfactorio por si solo, y que en cada caso debe procurarse determinar los parámetros más significativos posibles.

Entre los fines más o menos inmediatos que pueden darse a un cauce de agua, se pueden encontrar, entre otros, los siguientes:

- Abastecimiento de agua para usos domésticos.
- Usos industriales.
- Riego.
- Pesca.
- Transporte.
- Obtención de energía.
- Otros.

#### 1.4. Capacidad de autodepuración

El mantenimiento de la calidad de las aguas de un cauce dentro de unos determinados límites, va a depender entre otros, de los siguientes factores:

- Volumen de agua residual vertido.
- Caudal de la corriente receptora.
- Concentración de sustancias contaminantes del efluente.
- Factores físicos y climáticos de la corriente.

El conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en un curso de agua de modo natural, sin intervención del hombre y que provocan la eliminación de las materias extrañas incorporadas al río en las aguas residuales, se denomina autodepuración.

Esta depuración natural o autodepuración depende fundamentalmente del contenido en oxígeno disuelto, que es afectado por:

- El consumo de oxígeno debido a la oxidación bioquímica de las materias orgánicas carbonadas y nitrogenadas, la descomposición de los depósitos del fondo y la respiración de las plantas acuáticas y organismos vivos en general.
- Consumo directo para la oxidación de sustancias químicas reductoras.
- Además de estos procesos consumidores de oxígeno, existen otros que enriquecen el cauce en este elemento, principalmente a través de la fotosíntesis de organismos con clorofila, así como por transferencia de oxígeno desde la atmósfera a la masa de agua.

El resultado de los procesos consumidores y aportadores de oxígeno es el contenido de dicho elemento disuelto en las aguas del río, que evoluciona a lo largo de éste a partir del punto de vertido de las aguas residuales.

Si el vertido está formado principalmente por sustancias orgánicas biodegradables no tóxicas, el contenido de oxígeno disuelto en el receptor obedece aproximadamente a la ecuación de Streeter-Phelps.

$$D_t = \frac{K_1 * L_0 * (10^{-K_1 * t} - 10^{-K_1' * t})}{K_1' - K_1} + D_0 * 10^{-K_1' * t}$$

Donde:

$D_t$  = Déficit de oxígeno disuelto en un punto alejado en un tiempo  $t$ , del punto de referencia

$D_0$  = Déficit de oxígeno en el punto de referencia

$K_1$  = Cte. de velocidad para la DBO de la materia carbonosa

$K'1$  = Cte. de velocidad de la reacción de oxígeno

$L_0$  = Demanda bioquímica última de la materia carbonosa

$t$  = Tiempo transcurrido

Los valores de  $K_1$  y  $L_0$  pueden determinarse a partir de medidas realizadas en el laboratorio con muestras de agua de río, y la constante  $K'1$ , se calcula midiendo el déficit de oxígeno al comienzo y al final de dicho tramo. Aparte es preciso medir la velocidad de la corriente para sincronizar los tiempos de recogida de muestras, con objeto de que éstas pertenezcan a la misma masa de agua circulante.

La absorción de oxígeno a partir de la atmósfera va a depender del grado de saturación de la corriente.

Una vez conocidas las constantes de la ecuación, esta es de gran utilidad para predecir el comportamiento de un cierto tramo del río. A partir de ella puede determinarse el déficit de oxígeno de la corriente al cabo de un cierto tiempo de paso del agua por un punto inicial de referencia. Se puede deducir así el déficit máximo de oxígeno que existirá en la corriente, así como el tiempo necesario para su recuperación.

Existen en el mercado una serie de programas informáticos que permiten conocer la evolución de un cauce frente a un vertido, siendo la información obtenida tanto más precisa, cuanto mayor sea la cantidad de información suministrada.

## 2. Medida y Caracterización de los contaminantes

### 2.1. Aguas naturales

#### 2.1.1. Análisis de agua

Un análisis químico del agua nos indica que sustancias se encuentran presentes y en que concentración. Comúnmente estos resultados se expresan como composición en porcentaje o en miligramos de sustancia por litro de solución (mg/lto). Si la densidad o peso específico del agua analizada es igual a uno, quiere decir que un litro de agua pesa un kilogramo o mil gramos, por lo que la composición de mg/lto también es equivalente a partes por millón o ppm, ya que un kilogramo de agua (un litro de agua) tiene un millón de miligramos.

Para fines prácticos, las aguas residuales o potables tienen una densidad que prácticamente es igual a 1 mg/ml ó 1 kg/lto, por lo que ppm y mg/lto se considera que son equivalentes.

Las concentraciones de algunas sustancias son sumamente pequeñas pero muy significativas: por ejemplo la cantidad máxima permisible de mercurio es de 0.002 mg/lto y la de arsénico es de 0.01 mg/lto, y como en esta expresión se manejan milésimas y centésimas, es más conveniente expresar estos valores en partes por billón (ppb). Una parte por millón es equivalente a 1000 ppb, por lo que la concentración máxima permitida de mercurio y arsénico es 2 ppb y 10 ppb respectivamente.

#### 2.1.2. Salinidad y conductividad

Debido a que todas las aguas naturales tienen contacto con la atmósfera y con la superficie terrestre, éstas siempre contienen en mayor o menor cantidad sales en solución.

Los iones que contiene el agua como sales disueltas provienen de procesos de disolución que se lleva a cabo en cuanto el agua se pone en contacto con diversos compuestos y sustancias.

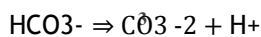
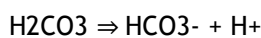
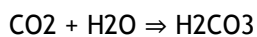
El agua tiene un ciclo en el cual continuamente está cambiando de estado y de posición. El agua que se evapora del mar, de los ríos, lagos, lagunas, etc. nos regresa en forma de lluvia; si esta agua no se precipita en el mar sino en la superficie terrestre, una parte de esa agua se infiltra a

las capas interiores o subterráneas de la corteza terrestre y el resto permanece en la superficie y eventualmente se evapora formando nubes que cuando se dan las condiciones causan lluvia.

Una vez que se dan las condiciones, empieza a formarse un condensado de partículas a partir del rocío para formar gotas ms grandes y producir la lluvia. El agua es el disolvente universal por lo que aún y cuando se tenga agua limpia en las nubes, a partir del momento en que entra en contacto con otras sustancias empieza su acción química y disolvente.

En el agua es posible encontrar gases disueltos como oxígeno O<sub>2</sub>, nitrógeno N<sub>2</sub>, óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, pero de todos estos gases el que tiene mayor impacto en las propiedades químicas del agua es el bióxido de carbono o CO<sub>2</sub>, el cual se encuentra en el aire en cantidades relativamente abundantes y es altamente soluble en agua formando ácido carbónico.

El bióxido de carbono o CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera se disuelve fácilmente en el agua y produce ácido carbónico, bicarbonatos y carbonatos a través de las siguientes reacciones.



Si el agua que llega a la superficie terrestre entra en contacto con minerales de caliza (carbonato de calcio) ocurre la disolución del mineral. De esta manera el carbonato de calcio, que no es soluble en agua, puede pasar a formar parte de ella por la acción del bióxido de carbono disuelto. Esta reacción del agua con el carbonato de calcio puede efectuarse hasta la saturación, si el agua está el tiempo necesario para llevar a cabo la disolución de la caliza.

Pueden llevarse a efecto otras reacciones de disolución del agua con ciertos minerales como por ejemplo el yeso o sulfato de calcio, el sulfato de magnesio, el cloruro de sodio, el cloruro de potasio y otros. Estos se integran al agua por disolución simple ya que en mayor o menor grado son solubles en agua.

También pueden integrarse al agua en pequeñas cantidades (pero con efectos trascendentes) algunos metales como: bario, estroncio, arsénico, mercurio, manganeso, fierro, cobre y algunos otros aniones como: fluoruros, nitritos, nitratos, fosfatos, etc. La mineralización del agua depende pues, de la zona geológica con la cual se encuentra en contacto. El grado de saturación en compuestos solubles depende de la naturaleza de la zona donde se encuentra el agua así como del tiempo que dura en contacto el agua con los minerales en su estado natural.

El total de los compuestos que se integran al agua a través del mencionado proceso de disolución se le llama contenido de sólidos disueltos y se mide cualitativamente por medio de la conductividad, ya que estas partículas en solución están cargadas positivamente o negativamente, y por lo tanto son capaces de conducir la corriente eléctrica. Cuanto mayor es la cantidad de partículas disueltas mayor es la conductividad de una solución, en este caso del agua.

Cuantitativamente se determina este contenido de sólidos por gravimetría, evaporando la solución y una vez filtrada, pesando el contenido de la cápsula antes y después de que los sólidos precipitan como cristales al evaporar el agua que los mantiene en solución.

Esta determinación es conjunta y no podemos diferenciar que sales y en que cantidad se encuentran presentes, por lo que se requiere de hacer un análisis químico de cada una de las sustancias individuales.

Como se ha mencionado, la cantidad y tipo de sales disueltas en agua en particular depende de la historia geológica del líquido.

Aunque un catión y un anión provengan de una sal común, una vez en solución pierden esta característica y son indistinguibles, de manera tal que el sulfato que se encuentra en solución no sabemos si proviene de por ejemplo: sulfato de calcio o sulfato de magnesio o sulfato de potasio, etc., y sus efectos posteriores en las características y calidad del agua es el mismo independientemente de su procedencia.

En todas las aguas y en toda solución existe un equilibrio de cargas entre cationes y aniones. Esto no significa que la suma de las concentraciones de todos los cationes y todos los aniones expresados en mg/lto sumen cantidades iguales, lo que debe dar sumas iguales es la concentración de cationes y aniones expresados en equivalentes, esto sí garantiza la electroneutralidad que es un requisito indispensable en toda solución que contiene partículas cargadas.

### **2.1.3. Composición química del agua**

Los minerales solubles son las sales o sólidos disueltos. No pueden ser separados físicamente del agua ya que forman parte de ella. Estos aparecen cuando el agua está en contacto con rocas o superficies que contienen estos minerales.

El principio de la electroneutralidad de las soluciones salinas establece que en una solución salina, el número de equivalentes de cationes debe ser exactamente igual al número de equivalentes de aniones.



El potencial iónico depende entre otros factores del tamaño del ión y de la carga de éste: los iones hidrogeno  $H^+$  tienen menor masa que los iones  $Na^+$  por lo que el  $H^+$  contribuye en mayor proporción a la conductividad que el  $Na^+$ . Como todas las aguas naturales tienen aproximadamente el mismo tipo de iones, es posible establecer una relación aproximada entre conductividad y Sólidos Totales Disueltos (STD).

Si se efectúa un análisis químico, es posible identificar los diferentes componentes que en mayor proporción se tienen en las aguas naturales y obtener la composición de las sales presentes.

Un laboratorio químico reportará sus resultados expresando la concentración de los diferentes componentes en ppm ó mg/L, o en algunas ocasiones en ppm como  $CaCO_3$ .

La práctica de expresar lo mismo en diferente forma, puede conducir a confusiones para las personas que no están familiarizadas con la manera de expresar dichas concentraciones. Cuando en el laboratorio se efectúa un análisis del agua, los resultados se expresan en miligramos por litro (mg/L).

Si el análisis de una muestra de agua da como resultado una concentración de 1.2 mg/L de flúor. y si la densidad relativa de la muestra de agua es de 1.0, entonces es lo mismo mg/L que ppm, ya que hay 1.2 mg de soluto en un litro de solvente (1000 grs), y también es correcto decir que hay 1.2 partes de soluto en un millón de partes (un litro=1000 gramos=1000 miligramos) de solvente.

Para fines prácticos se considera que las muestras de agua potable tienen una densidad relativa de 1.0, y las aguas residuales integran otros componentes adicionales que no contienen las aguas potables, pero también es posible considerar su densidad relativa de 1.0 y por lo tanto mg/L es lo mismo que ppm.

Otra forma de expresar la concentración de los iones es en equivalentes o miliequivalentes (1 equivalente=1000 miliequivalentes, 1 eq=1000 meq).

Esta forma de expresar la concentración de las sales es la más lógica y de mayor valor práctico, pero raras veces es empleada en los reportes químicos de laboratorio.

El principio de electroneutralidad de las soluciones salinas establece que en una solución, la cantidad de equivalentes en cationes y en aniones debe ser la misma.

La concentración en equivalentes de una sustancia por litro de solvente, es igual al peso en gramos de esa sustancia entre el peso equivalente de esta sustancia. El peso equivalente es igual al peso atómico entre el número de valencia o estado de oxidación del elemento.

Si se desea conocer la composición mayoritaria de cada especie en un agua en particular, se procede al análisis de: calcio, magnesio, sodio y potasio, así como de bicarbonatos y carbonatos (alcalinidad), sulfatos y cloruros. Se expresa la concentración en meq/L o partes por millón como carbonato de calcio y se suman las concentraciones de los aniones y cationes y estas sumas, dentro de los límites normales de error, deben dar cantidades iguales. Desde luego, el agua también debe contener otras especies como: cobre, hierro, flúor, fosfatos, nitritos, etc. pero a menos que se trate de un agua fuera de lo convencional, estas concentraciones son tan pequeñas que influyen en ciertas características del agua, pero su contribución a la composición del equilibrio de electroneutralidad es tan pequeña que para simplificación del cálculo y estimación se consideran despreciables.

## 2.2. Aguas residuales

Los diferentes tipos de contaminantes que pueden encontrarse en las aguas residuales, tanto de origen industrial como urbanas, pueden clasificarse en los siguientes grupos:

### ■ CONTAMINANTES FÍSICOS

- Características organolépticas:

- \* Color

- \* Olor

- \* Sabor

- Grasas y aceites

- Temperatura

- Sólidos

- Espumas

- Otros

### ■ CONTAMINANTES QUÍMICOS

- Materia orgánica

- pH

- Acidez / Basicidad
- Nitrógeno
- Fósforo
- Salinidad
- Compuestos tóxicos e inhibidores
- Gases
- Otros

#### ■ CONTAMINANTES BIOLÓGICOS

- Microorganismos
- Gérmenes patógenos
- Coliformes
- Virus
- Otros

## 2.3. Contaminantes físicos

### 2.3.1 Características organolépticas

#### 2.3.1.1. Color

El color es la capacidad del agua para absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El color de un agua puede ser de origen natural o debido a su contaminación.

Este tipo de contaminación da lugar a mayores conflictos que otros tipos de contaminación.

En aguas naturales, la presencia de ácidos húmicos da origen a una coloración amarillo-café. La presencia de fitoplancton, da lugar a tonalidades verdosas.

La presencia de sólidos en suspensión coloreados da lugar al denominado color aparente. El color real será el obtenido sobre una muestra filtrada, por la eliminación de sólidos en suspensión, siendo en consecuencia generado por los sólidos disueltos.

Las aguas residuales urbanas, si son frescas, son de tonalidad beige clara, oscureciéndose a medida que pasa el tiempo hasta convertirse en negras, debido a las descomposiciones anaerobias de los compuestos orgánicos presentes.

El color de las aguas industriales, dependerá del tipo de fabricación, materias primas, etc.

Procedencia: Vertidos de origen industrial o núcleos de población

Efectos sobre el medio receptor:

- Efectos estéticos perjudiciales.
- Afecta a la visión de los peces.
- Disminuye la transmisión de la energía solar y, en consecuencia, la fotosíntesis.

Las unidades de medida de color generalmente utilizadas son:

- Comparación de la muestra a analizar frente a una serie de disoluciones de cloroplatinato potásico y cloruro de cobalto, viniendo expresado en ppm de Pt.
- TAC. Absorbancia de la muestra filtrada. Una unidad de color corresponde a 2 ppm de cloroplatinato potásico.
- Diluciones sucesivas. La muestra se diluye con agua desmineralizada hasta la no apreciación de color en la misma.

#### 2.3.1.2. Olor

El olor se produce por desprendimiento de gases de la masa del agua residual.

Una característica del olor es que cantidades muy pequeñas de determinados compuestos pueden producir niveles elevados de olor, generalmente el olor es producido por compuestos orgánicos.

Las aguas residuales urbanas si son frescas, no tienen olores desagradables ni intensos. A medida que pasa el tiempo aumenta el olor, por desprendimiento de gases como sulfhídrico o compuestos amoniacales por descomposición anaerobia.

En las aguas residuales industriales, el olor va a depender de los productos presentes en los procesos.

Las aguas naturales tienen determinados olores, procedentes de las descomposiciones de productos naturales, desove de peces, etc.

Las plantas depuradoras urbanas o industriales, no deben oler si el diseño y la operación son correctos.

Procedencia: Gases producidos por desprendimiento generalmente de determinados compuestos orgánicos volátiles presentes en el agua residual

Efectos:

- Efectos desagradables sobre la población del entorno

La detección del nivel de olor presenta una serie de características como:

- Aditividad (el valor resultante de la suma de una serie de olores corresponde con la suma de los olores individuales)
- Sinergismo (el olor resultante de una suma de olores es superior que la suma de los olores individuales)
- Antagonismo (el olor resultante de una suma de olores, es inferior a la suma de los olores individuales).

La forma de cuantificar el olor es por determinación del número de diluciones que hay que realizar para que la muestra alcance un valor mínimo detectable, realizándose el ensayo mediante un panel de personas.

#### 2.3.1.3. Sabor

El gusto define las sensaciones resultantes de la estimulación química de las papilas de la lengua y del paladar bajo. Las problemáticas originadas por el sabor y olor, están íntimamente relacionadas y las respuestas en numerosas ocasiones son difíciles de diferenciar.

Los cuatro sabores básicos son: ácido, salado, dulce y amargo, siendo el resto de los sabores que se perciben provocados por mezcla de los anteriores.

Este contaminante no va a ser considerado ya que las aguas residuales, así como los vertidos de las plantas depuradoras, no son aptos por motivos obvios para el consumo humano.

Su importancia radica en la transmisión de sabor a la fauna acuática, o a su utilización aguas abajo.

Su forma de cuantificación, al igual que en el olor es por diluciones sucesivas.

### **2.3.2. Grasas y aceites**

Dentro de este grupo se encuentran aquellos compuestos que estén en estado libre, no sean solubles en el agua y tengan menos densidad que ésta, independientemente de su composición química y de su origen animal, vegetal o mineral. De estos últimos, destacan por su importancia el petróleo y sus derivados.

La presencia de derivados del petróleo en los colectores, pueden dar lugar a atmósferas explosivas y / o tóxicas, por vaporización.

Una característica de este grupo, es que pequeñas cantidades en el cauce receptor, ocupan grandes superficies, debido a la tensión superficial de muchos de estos compuestos.

En aguas residuales urbanas, sin componente industrial, la presencia de grasas y aceites es baja.

Su determinación puede ser realizada gravimétricamente mediante extracción con disolventes o bien de forma instrumental mediante infrarrojos. Hay que tener muy en cuenta que no siempre estas dos vías analíticas obtienen los mismos resultados.

Procedencia: Vertidos con presencia de productos derivados del petróleo, grasas animales o vegetales.

Efectos sobre el medio receptor

- Efectos estéticos muy perjudiciales.
- Un número importante de derivados del petróleo son tóxicos, impidiendo o interfiriendo la actividad biológica.
- Impregnan vegetales y animales, impidiendo la fotosíntesis, respiración y transpiración. Sobre las aves acuáticas, actúan disolviendo la grasa de sus pulmones anulando su flotabilidad.
- Debido a que la solubilidad del oxígeno en los aceites y grasas es muy baja y en muchos casos nula, forman una barrera que impide la transferencia de oxígeno desde la atmósfera a la masa del líquido. Este problema se ve agravado porque pequeñas cantidades, ocupan grandes superficies.
- Transmiten al pescado, marisco, etc. sabor desagradable, incluso en concentraciones muy bajas.

### 2.3.3. Espumas

La aparición de espumas en un cauce receptor, es un efecto producido por la presencia de otros contaminantes, que producen una disminución de la tensión superficial.

En las aguas residuales urbanas, la espumación es debida a la presencia de proteínas y detergentes.

En aguas industriales, la espumación es debida a tensoactivos, partículas sólidas muy finas, alcalinidad o salinidad elevada, entre otros factores.

La temperatura del agua afecta de forma importante al tiempo de persistencia de la misma. A mayor temperatura menor persistencia.

Procedencia: Vertidos con presencia de compuestos tensoactivos u otros compuestos

Efectos sobre el medio receptor

- Efectos estéticos muy perjudiciales.
- Dificulta la transferencia de oxígeno desde la atmósfera, al tiempo que disminuye la energía solar que llega a la masa de líquido.

- Si la formación de espuma es producida por tensoactivos, emulsiona y / o solubiliza grasas y aceites, lo que lleva consigo un incremento de contaminación por materia orgánica disuelta.
- Causa graves problemas en las plantas depuradoras de aguas al actuar negativamente sobre los procesos biológicos, interfiriendo igualmente en los sistemas de coagulación - floculación, así como en decantación.

#### 2.3.4. Temperatura

Las variaciones naturales de temperatura de los cauces forman parte del régimen climático de los mismos, existiendo cambios entre temporadas, noche / día, etc.

Las aguas residuales en general, son más calientes que las aguas de aportación.

Las aguas residuales urbanas se encuentran entre 10 y 20°C, siendo 15°C un valor medio normal para diseño.

La temperatura de las aguas residuales industriales dependerá del tipo de procesos utilizados (fríos - calientes), así como del volumen de agua utilizado en los sistemas de refrigeración.

Procedencia: Vertidos de agua de refrigeración o proceso industrial.

Efectos sobre el medio receptor

- Variación de algunas de las características físicas del agua, como densidad, viscosidad, etc.
- Aumentos de temperatura suponen incrementos en la evaporación del agua.
- Disminuye la solubilidad de los gases y en consecuencia, la del oxígeno. Concentraciones menores de 3 - 4 ppm de este elemento, van a crear problemas de supervivencia a determinadas especies, llegando a producir su desaparición.
- Aumenta la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas.
- Aumento / disminución de la solubilidad de las sales.



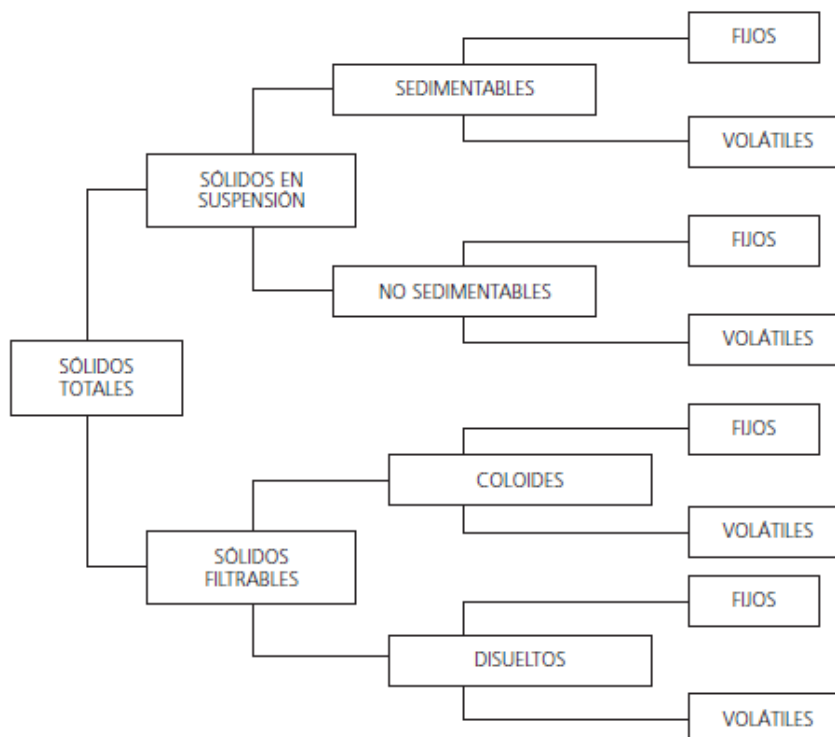
- Variación de la flora y fauna del medio (incrementos de temperatura, aumentan la población de hongos), alterando a las comunidades acuáticas existentes.
- Determinadas especies se reproducen de acuerdo con la temperatura del agua.
- Estratificación del agua en lagos o embalses, dificultando la mezcla vertical del agua y como consecuencia, disminuyendo la transferencia de oxígeno desde la atmósfera a las capas más profundas.

### 2.3.5 Sólidos

Se podría definir la denominación genérica de sólidos, como todos aquellos elementos o compuestos presentes en un agua residual que no son agua.

Las aguas naturales presentan sólidos en su composición, por disolución, abrasión o arrastre de los terrenos por donde circula.

Los sólidos totales que se encuentran en las aguas se clasifican en:



**Sólidos totales:** Es el residuo que se obtiene al evaporar la muestra bruta hasta peso constante.

**Sólidos en suspensión:** Son aquellos que quedan retenidos en un filtro con un tamaño de poro determinado.

**Sólidos filtrables:** Son aquellos que no son retenidos en un filtro con un tamaño de poro determinado.

**Sólidos sedimentables:** Fracción de los sólidos en suspensión que se depositan en el fondo de un recipiente (cono Imhoff), al dejarlos en reposo durante un periodo de tiempo determinado.

**Sólidos no sedimentables:** Fracción de los sólidos en suspensión que no sedimentan en el fondo de un recipiente (cono Imhoff), al dejarlos en reposo un período de tiempo determinado.

**Sólidos fijos:** Sinónimo de sólidos de naturaleza inorgánica.

**Sólidos volátiles:** Sinónimo de sólidos de naturaleza orgánica.

La presencia de sólidos en suspensión y / o coloides incrementa la turbidez y color aparente del agua, y la de los sólidos disueltos, la salinidad del medio y en consecuencia la conductividad del mismo.

La correlación entre sólidos en suspensión y turbidez va a venir afectada por el tamaño, forma y naturaleza de los sólidos en suspensión presentes en el agua.

La contaminación por sólidos no contempla los efectos que dichos compuestos puedan transmitir al agua por su naturaleza, como toxicidad, inhibición, etc.

**Procedencia:** Vertidos de agua de origen industrial o urbano.

**Efectos sobre el medio hídrico**

**Sólidos en suspensión:**

- Producen el color aparente de las aguas.
- Disminuyen el paso de la energía solar, lo que lleva consigo una disminución de la fotosíntesis.

- Depósitos sobre plantas lo que supone una disminución de la función clorofílica y branquias de los peces pudiendo llegar a provocar asfixia por colmatación de las mismas.
- Depósitos por sedimentación, en el fondo de los cauces receptores, favoreciendo la aparición de condiciones anaerobias si los sólidos son materia orgánica biodegradable y dificultando la alimentación de determinadas especies ictícolas, etc.
- Interfiere en los usos recreativos del agua, generando efectos estéticos desagradables
- Interfiere en la visión de los peces.

Sólidos disueltos:

- Aumento de la salinidad, provocando incrementos en la presión osmótica.
- Variación de la solubilidad del oxígeno en el medio.
- Aunque no sean tóxicos, pueden inducir la toxicidad de determinados compuestos.
- La deterioran e incluso la pueden llegar a inutilizar para el suministro de agua a poblaciones ubicadas aguas abajo, y si la salinidad es elevada incluso para actividades industriales y usos agrícolas. Hasta 2.000 ppm un agua puede considerarse dulce, entre 5.000 y 10.000 salobre y por encima de este último valor salada.

#### **2.3.6 Medida**

- Sólidos totales: Evaporación del agua de la muestra a 104°C, hasta peso constante.
- Sedimentables: Sedimentación de los sólidos de la muestra en conos Imhoff, durante un período de tiempo determinado, normalmente de una hora.
- Sólidos fijos: Residuo permanente de calcinación de la muestra a 500 - 600°C, hasta peso constante. Son compuestos exclusivamente inorgánicos

- Sólidos volátiles: Diferencia entre los sólidos totales y los fijos. Corresponden con compuestos orgánicos.
- Sólidos filtrables: Residuo permanente de evaporación del agua de la muestra a 104°C hasta peso constante, previamente filtrada sobre una membrana de tamaño de paso próximo a 0,45 micras.
- Sólidos suspensión: Diferencia entre los sólidos totales y los sólidos filtrables.

## 2.4. Contaminantes químicos

### 2.4.1 Materia orgánica

Todos los compuestos orgánicos se caracterizan porque en su composición interviene siempre el carbono.

**Clasificación:** La materia orgánica puede clasificarse desde el punto de vista de contaminación del medio hídrico en biodegradable y no biodegradable en función de su capacidad para ser degradada por microorganismos.

**Procedencia:** Vertido de aguas residuales, tanto urbanas como industriales. Mientras que las primeras se caracterizan por su elevada biodegradabilidad, las segundas dependerán de la composición de la materia orgánica.

**Forma de expresión:** Demanda bioquímica de oxígeno, (DBO): Cantidad de oxígeno que precisan los microorganismos para la degradación de la materia orgánica biodegradable existente en el agua.

**Demanda química de oxígeno, (DQO):** Cantidad de oxígeno que se precisa para la oxidación total de la materia orgánica por medio de reactivos químicos.

**Carbono orgánico total, (COT)**

**Demanda total de oxígeno, (DTO)**

**Demanda teórica de oxígeno, (DThO)**

En las aguas residuales urbanas, se estima que el 75% de los sólidos en suspensión y el 40% de los disueltos son de naturaleza orgánica y dentro de estos, entre el 40 y 60% son proteínas (fundamentalmente de origen animal y en menor proporción de origen vegetal). En su composición existe cerca de un 15% de compuestos de nitrógeno, entre un 25 y 40% de hidratos de carbono (fundamentalmente de origen vegetal y formados por azúcares, celulosas, etc.), un 10% por lípidos (grasa de origen animal y vegetal, aceites, etc.) y el resto otros tipos de compuestos orgánicos.

#### Efectos sobre el medio

- La presencia de materia orgánica biodegradable en un vertido, a través de las reacciones bioquímicas que en el cauce se van a producir de forma natural, va a suponer un consumo del oxígeno disponible, con toda la problemática que sobre el ecosistema ello conlleva.

En caso de un vertido importante, se podría llegar al consumo de todo el oxígeno disponible, con la desaparición de toda forma de vida aerobia en el medio receptor.

- La materia orgánica no biodegradable, al no poder ser eliminada por la naturaleza, va a generar una contaminación de tipo permanente, con todos los efectos que para el futuro vaya a generar.

#### Biodegradabilidad

Definiendo la biodegradabilidad como la característica de determinados compuestos orgánicos, para poder ser utilizados por microorganismos como fuente de alimentación y, consecuentemente, como sustrato en procesos de oxidación para obtener la energía precisa para la vida, o bien en procesos de síntesis, mediante la elaboración a partir de la mencionada materia orgánica de productos mucho más complejos (aminoácidos, proteínas, etc.), que acabarán dando lugar a la reproducción de nuevos microorganismos.

La reacción bioquímica que tiene lugar es la siguiente:

<b>M.O<sub>b</sub> + Microorganismos + O<sub>2</sub> CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + ... + Energía + Nuevos Microorganismos</b>
---

Entre los factores más importantes que afectan o alteran a la biodegradabilidad de un agua residual, se encuentran:

- Naturaleza de la estructura de la materia orgánica, siendo en principio difícil indicar si un producto se va a biodegradar con facilidad, si no se llevan a cabo los ensayos de laboratorio pertinentes.

Las aguas residuales de origen urbano presentan una buena biodegradabilidad.

En plantas industriales va a depender del tipo de materia orgánica presente. De forma general la industria agroalimentaria genera unas aguas fácilmente biodegradables.

- Presencia y tipo de microorganismos presentes.
- Temperatura del agua residual.
- Concentración de nutrientes y oligoelementos.

En las reacciones de síntesis, para la formación de aminoácidos, proteínas, etc., se requieren además de los componentes usuales de la materia orgánica (carbono, oxígeno e hidrógeno), otros elementos denominados nutrientes (nitrógeno y fósforo), así como oligoelementos (magnesio, calcio, hierro, cobalto, molibdeno, níquel, etc.).

- pH

Debido a que los microorganismos sólo pueden vivir en un determinado rango de valores de pH, relativamente estrecho y crítico, valores fuera del mencionado rango producirán la inhibición de las reacciones bioquímicas, por desnaturalización de las proteínas de los seres vivos y en consecuencia su muerte.

- Salinidad.

Posee efectos sobre los microorganismos por variación de la presión osmótica.

Igualmente la presencia de salinidad, puede potenciar los efectos tóxicos de otros compuestos.

- Tiempo de reacción.

Las reacciones biológicas se caracterizan por su lentitud, y su duración es de días.

- Presencia de inhibidores y / o tóxicos.

#### **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de un agua residual, se puede definir como la cantidad de oxígeno que precisan los microorganismos, para la eliminación de la materia orgánica biodegradable existente en el agua residual, a través de procesos bioquímicos, en las siguientes condiciones de reacción:

- Temperatura: 20°C.
- Tiempo de incubación: 5 días. Como se ha indicado anteriormente las reacciones bioquímicas son muy lentas, así por ejemplo, en un agua urbana se calcula que en cinco días se ha producido la biodegradación del 70 % de la materia orgánica biodegradable presente.

La utilización de cinco días no genera la oxidación del nitrógeno amoniacal presente en las aguas urbanas producido por la descomposición de la urea y material proteínico, que comienza en las condiciones del ensayo aproximadamente el séptimo día.

En la tabla 3 se recoge como es la variación de la DBO para diferentes temperaturas y tiempos de incubación, dando a la DBO5 el valor 1.0.

**TABLA 3. VARIACIÓN DE LA DBO CON EL TIEMPO Y LA TEMPERATURA**

TIEMPO DÍAS	TEMPERATURA °C			
	5	10	15	20
2	0,21	0,30	0,40	0,54
4	0,38	0,52	0,68	0,88
5	0,45	0,60	0,79	1,00
6	0,51	0,68	0,88	1,10
8	0,62	0,80	1,01	1,23
10	0,70	0,90	1,10	1,32
12	0,77	0,97	1,17	1,37
14	0,82	1,02	1,21	1,40
16	0,85	1,06	1,24	1,43
18	0,90	1,08	1,27	1,44
20	0,92	1,10	1,28	1,45

- Oscuridad: Para evitar que la presencia de algas microscópicas produzcan oxígeno por fotosíntesis y adulteren el resultado.
- Dilución de la muestra a la concentración adecuada.

La solubilidad del oxígeno a 20°C es de 9,17 ppm.

- En el caso de aguas industriales, siembra de la muestra a analizar con microorganismos.
- Valor de pH entre 7 y 7,5.
- Presencia de nutrientes y oligoelementos.

En la bibliografía, y fundamentalmente en trabajos de tipo científico o experimental, pueden encontrarse términos como:

- DBO<sub>f</sub> (demanda bioquímica de oxígeno final o última)
- DBO<sub>21</sub> (demanda bioquímica de oxígeno en 21 días), que para un agua urbana supone la eliminación entre el 95 y 98% de la materia orgánica biodegradable presente, etc.

La DBO<sub>5</sub> de un agua residual urbana está comprendida como valor medio entre 300 y 400 ppm, mientras que en los cauces no contaminados suele encontrarse entre 5 y 10 ppm.

#### **Demanda química de oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO) de un agua residual, se puede definir como la cantidad de oxígeno que se precisaría para la oxidación de la materia orgánica y algún compuesto inorgánico, por medio de reactivos químicos.

El método utilizado para la determinación de la DQO es por oxidación con dicromato potásico (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) en medio ácido y a 180°C de temperatura, durante dos horas y en presencia de determinadas sales para evitar interferencias y como catalizadores.

Como la DQO oxida toda la materia orgánica y algunos compuestos inorgánicos, mientras que la DBO sólo la biodegradable, la relación entre ambos parámetros será siempre menor que la unidad.



$$\frac{DBO_5}{DQO} < 1$$

La relación DBO<sub>5</sub> / DQO es un buen indicador de la biodegradabilidad de un agua residual, de tal forma que valores inferiores a 0,2 se consideran que no se pueden utilizar procesos de tratamiento por vía biológica.

Para agua residuales urbanas esta relación toma un valor próximo a 0,75.

Como ya se ha indicado anteriormente, debe tenerse en cuenta que algunos compuestos inorgánicos pueden dar DQO, como sulfuros, nitritos, etc.

#### Otros sistemas de expresión de la materia orgánica

- Carbono orgánico total (COT).
- Demanda total de oxígeno (DTO).
- Demanda teórica de oxígeno (DThO).

#### 2.4.2 pH

El valor del pH es un parámetro de gran importancia para determinar la calidad de un agua residual, debido a que el rango en el cual se desarrollan los procesos biológicos corresponde a un intervalo estrecho y crítico (5,5 - 9,5), no existiendo vida en valores fuera del mismo, por desnaturalización de las proteínas, como se comentó anteriormente, aunque determinados microorganismos pueden vivir a valores más extremos de los indicados.

Debe tenerse muy presente que la toxicidad de determinados productos químicos se ve muy afectada por el pH del agua, como ocurre con el amoníaco.

Igualmente, a pH ácidos, el agua ataca a elementos metálicos, como estructuras, que puedan estar presentes en el cauce receptor.

Las aguas residuales urbanas, generalmente son ligeramente alcalinas 7,5 - 8,0, siendo un rango óptimo para el desarrollo de los procesos biológicos.

El pH de las aguas naturales se encuentra entre 7,2 y 7,6, aunque en zonas volcánicas este valor puede ser inferior.

En las aguas de procedencia industrial, el pH depende de los productos fabricados, materias primas, etc.

Procedencia: Vertido de aguas residuales de origen industrial

Efecto sobre el medio

- A pH menores de 5,5 o mayores de 9,5 se produce la desnaturalización de las proteínas inhibiéndose los procesos biológicos provocando la desaparición de los seres vivos.

### 2.4.3. Nitrógeno y fósforo

Ambos elementos, en forma de diferentes sales, son esenciales para la vida, ya que forman parte de la estructura química de las proteínas, siendo en consecuencia necesaria su presencia en los procesos bioquímicos.

En las aguas residuales urbanas ambos elementos son abundantes, en forma de fosfatos, nitratos, amonio y formando compuestos orgánicos más o menos complejos como pueden ser proteínas. Si las aguas residuales son frescas, el nitrógeno se encuentra en forma de urea y compuestos proteínicos, pasando posteriormente a forma amoniacal por descomposición bacteriana.

A medida que el agua se estabiliza, por oxidación del amoniaco se obtendrán nitritos y posteriormente nitratos, siendo un indicio de agua ya estabilizada el que la mayor parte del nitrógeno se encuentre en forma de nitratos.

En las aguas urbanas el nitrógeno amoniacal varía entre 40 y 60 ppm y las sales de fósforo expresadas como fosfatos entre 15 y 20 ppm.

En las aguas urbanas los compuestos de nitrógeno y fósforo proceden de los deshechos humanos y, en el caso de compuestos de fósforo, además por la utilización de detergentes.

Procedencia: Vertidos tanto urbanos como algunos industriales.

Efectos sobre el medio

- La presencia en el vertido de derivados de nitrógeno y fósforo, produce la eutrofización del cauce, o lo que es lo mismo, un crecimiento desmesurado de algas macroscópicas sobre todo cuando la masa de agua se remansa como ocurre en presas.
- La eutrofización del cauce, lleva consigo una disminución del oxígeno disuelto en el agua, debido a la gran demanda de este elemento que suponen las algas muertas y depositadas en el fondo, así como la oscuridad y opacidad que producen en el agua en profundidad, que supone una disminución de la energía solar disponible.
- Igualmente en la zona superficial se van a originar unos cambios bruscos día - noche de la concentración del oxígeno presente, ocasionando un efecto perturbador en la fauna.
- La presencia de nitrógeno amoniacal, implica toxicidad para los peces, estando muy influida por el pH del cauce y la temperatura.

#### 2.4.4. Tóxicos

Determinados compuestos químicos, presentan un cierto grado de toxicidad, de gran importancia por las implicaciones que su presencia en el vertido ocasionan, produciendo distintos grados de efectos: inmediatos o agudos, crónicos o a largo plazo, subcrónicos, latentes, etc.

La toxicidad de un determinado compuesto va a depender de su naturaleza, concentración, solubilidad en el agua, presencia de otros compuestos así como del tiempo de exposición y de las características físicas y químicas del receptor como temperatura, pH, salinidad, etc.

Con referencia a los organismos afectados, hay que tener en cuenta que varía de forma importante de unos a otros e incluso dentro de los de una misma especie del estado de desarrollo del individuo, afectando de forma más importante a los más jóvenes.

Entre los cationes más importantes destacan por su toxicidad los metales pesados, debido a los procesos de bioacumulación que presentan. Dentro de éstos se encuentran; plomo, cobre, mercurio, cromo, arsénico, cadmio, níquel, etc.

Entre los aniones de una toxicidad elevada se encuentran los cianuros, cromatos, fluoruros, sulfuros, etc.

Igualmente, plaguicidas, fungicidas, bactericidas, derivados clorados, etc., presentan una toxicidad elevada.

Los compuestos indicados anteriormente son típicos de algunas aguas residuales industriales, creando graves problemas en las depuradoras urbanas, cuando los vertidos se realizan sin tratar a los colectores municipales.

Procedencia: Vertidos industriales en cuyos procesos intervengan metales pesados, pesticidas, cianuros, derivados clorados, etc. De forma difusa por la utilización de productos fitosanitarios de forma inadecuada en la agricultura.

Efecto sobre el medio:

- Efectos sobre la fauna y flora en función de la concentración y el tipo de contaminante.
- Al ser alguno de ellos bioacumulativos a lo largo de la cadena alimentaria, pueden llegar a crear graves problemas al género humano.

La evaluación ecotoxicológica pretende determinar los riesgos asociados a determinados tóxicos en el agua, fijando los niveles que no deben ser superados. Se trata de identificar los efectos que una sustancia o mezcla de ellas produce sobre determinados microorganismos vivos, después de su incorporación al medio.

En los ensayos de ecotoxicidad aguda se determina la concentración de un tóxico que produce efectos sobre un grupo de microorganismos durante un tiempo determinado de exposición y bajo condiciones controladas, cuantificándose por medio del LC50 (concentración media de un contaminante que es letal para el 50% de una población determinada), después de un cierto tiempo de exposición que oscila entre 24 y 96 horas.

Hasta hace poco tiempo las poblaciones de ensayo eran de crustáceos o peces. En la actualidad se emplean bacterias específicas bioluminiscentes medibles que son sensibles a una concentración de tóxicos conocidos, requiriendo unos tiempos de contacto muy inferiores. El hecho de utilizar unas poblaciones de organismos muy elevadas permite que el cálculo de probabilidades se haga más preciso.

Cuando la respuesta de los organismos se genera al cabo de largos periodos de exposición continua se produce toxicidad crónica.

### Toma de muestras

Para la realización de la analítica de un agua residual, previamente debe tomarse la muestra correspondiente, que debe cumplir con las siguientes características básicas:

- Ser representativa.
- No modifique las características del agua.
- Realizar la preservación adecuada al parámetro a analizar, sobre todo de aquellos que pueda variar su composición o estado con el paso del tiempo.

En la tabla 4 se recogen los métodos de preservación de las muestras para una serie de contaminantes.

TABLA 4. PRESERVACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL

Parámetro	Medio
Acidez / Alcalinidad	Refrigeración a 4°C
DBO <sub>5</sub>	Refrigeración a 4°C
DQO	Acidulación con sulfúrico
Color	Refrigeración a 4°C
Cianuro	Sosa a pH > 10
Metales pesados	Acidulación con nítrico
Hg	Refrigeración a 4°C
Aceites y grasas	Acidulación con sulfúrico y refrigeración a 4°C
COT	Acidulación con sulfúrico
Sulfuros	Acetato de cinc
Sólidos	No se precisa

- Mínimo tiempo entre el muestreo, su recepción y análisis en el laboratorio.

Los tipos de muestra que se pueden tomar, son los siguientes:

- Simples o puntuales. Tomadas en un punto fijo y en un momento determinado.

- Compuestas. Mezcla de muestras simples tomadas en un punto fijo en diferentes momentos.
- Proporcionales. Muestra compuesta donde el volumen de cada una de las muestras simples es proporcional al caudal de la corriente en el momento de la toma.
- Integradas. Muestra compuesta tomada en diferentes puntos en el mismo momento.

De la buena práctica en la toma de la muestra, va a depender la representabilidad del análisis posterior, que por otra parte es la base de diseño cierta de la futura planta de tratamiento.

El número de muestras a realizar será variable en cada caso, pero siempre en número suficiente que garantice la composición del agua a tratar.

No debe olvidarse que la composición en el vertido de un agua residual ya sea de origen urbano o industrial, varía a lo largo del día dentro de unos amplios márgenes, por lo que las muestras puntuales y únicas tienen muy poca representatividad.

## 2.5. Composición del agua residual urbana

La composición típica de un agua residual urbana, sin componente industrial importante, es próxima a la siguiente:

SÓLIDOS EN SUSPENSION	300 - 400 ppm
DBO5	250 - 350 ppm
DQO	400 - 750 ppm
NTK	30 - 60 ppm
P-TOTAL	10 - 20 ppm
GRASAS Y ACEITES	70 - 120 ppm

## 2.6. Composición del agua residual industrial

En la siguiente tabla, se recogen los contaminantes más frecuentes en una serie de instalaciones industriales.

Industria	DBO	DQO	SS	pH	Aceites	Metales	NTK
Cloro Sosa			X	X		Hg	
Refino petroleo	X	X	X	X	X		X
Conservas vegetales	X	X	X	X			X

Lacteas	X	X	X	X	X		X
Mataderos	X	X	X			X	X
Fertilizantes			X	X			X
Fibras sintéticas	X	X		X			
Celulosa y papel	X	X	X	X			
Terminación superficies			X	X	X	Cr, Cd, Ni,...	
Curtición	X	X	X	X	X	Cr	X
Acero			X	X	X	Fe, Sn, Cr,...	
Azúcar	X	X	X				
Precocinados	X	X	X		X		X
Granjas	X	X	X				X
Automoción			X	X	X	Cr, Pb, Ni,...	

### 3. Procesos y operaciones unitarias

Debido a la gran explosión industrial de los últimos decenios, así como de las migraciones internas que dieron lugar a grandes núcleos de población, aparecieron vertidos muy importantes sobre cortos tramos de los cauces receptores.

Estos han ido degradando paulatinamente el cauce, llegando a convertir algunos ríos en auténticas cloacas, desapareciendo la vida totalmente y siendo la causa de gravísimos problemas sanitarios y ambientales para la población asentada en su área de influencia.

A medida que fue surgiendo el problema de la degradación del medio, se fue creando una nueva tecnología anticontaminante, con un gran desarrollo potencial, tendente a aplicar las técnicas más de vanguardia con el fin de reducir el problema a un mínimo y retornar el cauce receptor lo más próximo a su situación original.

En el desarrollo de estas nuevas tecnologías de carácter multidisciplinar, se han asimilado técnicas y procesos procedentes en gran número de ocasiones de otras ramas del conocimiento, lo que ha permitido alcanzar grandes logros técnicos en un espacio de tiempo reducido.

La tecnología desarrollada utiliza procesos físicos, químicos o biológicos entre otros, así como combinaciones de ellos, que junto con las técnicas de control más precisas, hacen pensar en la consecución del fin propuesto.

En la actualidad se habla con insistencia del vertido cero, o lo que es lo mismo, se preconiza un reciclado total del agua dentro de la industria como la solución del problema o bien la utilización de procesos productivos no consumidores de agua, lo que lleva a los profesionales de este campo a introducirse dentro de los procesos fabriles con el fin de evitar o reducir los vertidos al mínimo. Para alcanzar las metas propuestas, será preciso mejorar continuamente la tecnología, de tal forma que los procesos que se utilizan hoy en día aumenten su eficacia o bien, se desarrollen otros nuevos con el fin de conseguir un entorno más grato, tanto para esta generación como para las venideras.

Este incremento de la calidad de la tecnología así como el desarrollo de nuevos procesos o sistemas, lleva a que lo que fue bueno ayer, sea insuficiente hoy y obsoleto mañana, obligando a los especialistas en esta materia a estar en continuo aprendizaje con el fin de mantenerse en la vanguardia de su actividad.



### 3.1. Clasificación de los sistemas de tratamiento

El tratamiento de las aguas residuales ya sean urbanas o industriales supone la aplicación de unos procesos y operaciones unitarias, cuya secuencia y utilización vienen definidas entre otros factores, por los siguientes:

- Grado de depuración a alcanzar en el vertido.
- Características físicas, químicas y biológicas del agua a tratar.
- Caudales de diseño.
- Coste de las instalaciones, tanto en primera implantación, como en su posterior explotación y mantenimiento.

La mayor parte de los procesos a utilizar están variando de forma continua, existiendo en el mercado un gran número de equipos e instalaciones para abordar un mismo problema.

En la actualidad las diferentes operaciones unitarias y procesos se clasifican de acuerdo con el principio o principios en los que se basan formando los siguientes grupos:

- *Tratamientos previos o pretratamientos*: conjunto de operaciones que se llevan a cabo al comienzo de las plantas depuradoras, con el fin de evitar riesgos al resto de la instalación que componen la planta.

Este grupo de procesos se pueden incluir dentro de los tratamientos físicos, al basarse en este tipo de principios su funcionamiento.

- *Tratamientos físicos*: se basan en la separación de determinados contaminantes, como sólidos en suspensión, aceites y grasas en estado libre o sólidos disueltos, por principios netamente físicos, como la diferencia de densidad entre la partícula y el agua, presión osmótica, transferencia de calor, transporte eléctrico etc.
- *Tratamientos químicos*: la eliminación de contaminantes se lleva a cabo mediante una reacción de tipo químico, ya sea de coagulación, neutralización, precipitación o redox.

Dentro de este grupo podría incluirse la desinfección pues se trata de una oxidación mediante cloro, hipoclorito, ozono u otros oxidantes de la materia orgánica y en consecuencia de la naturaleza misma de los gérmenes patógenos a eliminar.

- *Tratamientos biológicos:* en estos procesos se lleva a cabo la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, a través de reacciones de tipo bioquímico con intervención de microorganismos.
- Tratamiento de fangos. A lo largo de alguno de los procesos indicados anteriormente se van a producir unos fangos o lodos, muy diluidos, en los que se encuentran los contaminantes o sus derivados, que fueron eliminados en la operación correspondiente y que es preciso concentrar hasta unos niveles que permitan su evacuación de la planta depuradora, en estado sólido, hasta su destino final, mediante camión u otro medio de transporte.

La clasificación de los diferentes procesos y operaciones unitarias indicadas anteriormente se encuentra hoy en día totalmente generalizada, frente a la clasificación clásica de:

- tratamientos previos
- tratamientos primarios
- tratamientos secundarios
- tratamientos terciarios
- tratamientos fangos

Esto es debido a que con la clasificación tradicional resultaba difícil encuadrar determinadas operaciones que no son realizadas con aguas urbanas como puedan ser las reacciones químicas, que en muchas ocasiones es preciso efectuarlas con anterioridad a los procesos primarios o a los biológicos.

En la relación que se indica a continuación de los diferentes procesos utilizados en el tratamiento de aguas residuales, se ha seguido el sistema de clasificación comentado anteriormente. Dicha relación no es total, puesto que existen y aplican numerosas variaciones de los mismos, así como otros derivados de procesos industriales.

Debe tenerse en cuenta que a medida que aumenta el grado de depuración requerido así como la complejidad de la operación a llevar a cabo, los costes, tanto de instalación como de mantenimiento, se incrementan de forma notable, lo que lleva consigo que algunos de los procesos no sean de aplicación universal, sino que se encuentran reservados para aplicaciones muy concretas.

En esta relación, los procesos convencionales o de aplicación más frecuentes, ya sea en aguas urbanas como industriales, se encuentran remarcados en **negrita**.

En los apartados siguientes se hace una breve reseña de los procesos que habitualmente son utilizados en el tratamiento de aguas residuales, ya sean industriales o urbanas.

PROCESOS		
FÍSICOS	QUÍMICOS	BIOLÓGICOS
Desbaste de sólidos gruesos.	<b>Coagulación para neutralizar las cargas eléctricas de coloides y emulsiones.</b>	Lagunaje.
Desarenado.	Reacciones de neutralización.	Lagunas alreadas.
Eliminación de aceites y grasas en estado libre.	Reacciones de precipitación.	Bioldiscos, biocilindros, etc.
Sedimentación o decantación de sólidos en suspensión.	Reacciones de oxidación-reducción.	Filtros biológicos.
Flotación para eliminar sólidos en suspensión, generalmente mediante aire presurizado.		Fangos activos.
Concentración por osmosis inversa, electrodiálisis, etc.		Nitrificación-Desnitrificación.
Filtración sobre arena u otros medios.		Digestión anaerobia.
Micro y ultrafiltración.		Otros.
Evaporación.		
Adsorción para eliminar microcontaminantes.		
Extracción con disolventes.		
Otros.		

TRATAMIENTO DE FANGOS			
ESPESADO	ESTABILIZACIÓN	DESHIDRATADO	OTROS
Por gravedad	Digestión anaerobia	Eras de secado	Deshidratación térmica
Por flotación	Digestión aerobia	Filtración a presión, vacío o bandas	Inertización
Centrifugación	Estabilización química	Centrifugación	Incineración
			Otros

### 3.2. Tratamientos Físicos

Como ya se ha indicado anteriormente, dentro de este grupo se incluyen todos aquellos procesos de depuración de aguas residuales cuyos principios de eliminación son netamente físicos.

Dentro de los tratamientos físicos, pueden distinguirse tres grandes grupos, en función del tipo o tipos de contaminantes a eliminar, y que son:

- *Tratamientos previos o pretratamientos.*
- *Eliminación de sólidos en suspensión.*
- *Eliminación de sólidos disueltos.*

### **3.2.1. Tratamientos previos**

La primera operación que se lleva a cabo en cualquier estación depuradora de aguas residuales ya sea urbana o industrial es la de desbaste, consistente en la eliminación de todos aquellos cuerpos de gran tamaño que pueden acompañar al agua residual (trapos, palos, plásticos, piedras, etc.), que son arrastrados por el agua a través de la red de colectores.

Esta operación tiene como fin más inmediato la protección de los equipos mecánicos dinámicos que se encuentran situados posteriormente y evitar obstrucciones en líneas y canales que alterarían el régimen hidráulico de la instalación.

Igualmente dentro de las operaciones de tratamiento previo, se encuentra el desarenado o eliminación de sólidos en suspensión de alta densidad y tamaño, fundamentalmente arenas, escorias, objetos metálicos, etc., que son arrastrados por el agua residual.

La eliminación de estos materiales en cabeza de tratamiento, viene condicionada por la abrasión que producirían en los equipos mecánicos dinámicos, su sedimentación o deposición en líneas o canales y la acumulación en balsas, digestores, etc., reduciendo el volumen útil o efectivo de los mismos.

El tercer proceso incluido dentro del pretratamiento es la separación de grasas y aceites en estado libre.

Se entiende que un aceite o grasa se encuentra en estado libre cuando no se encuentre disuelta o emulsionada.

De forma general este proceso no puede ser único en el tratamiento de eliminación de grasas y aceites, pues en el efluente de estas unidades se van a encontrar concentraciones altas de dichos contaminantes, lo que obliga a realizar algún tratamiento posterior antes de su vertido al cauce receptor, cuando los límites en el vertido son bajos.

El realizar esta operación en cabeza de tratamiento viene condicionada por las interferencias que estos contaminantes pueden provocar en procesos posteriores y por razones de seguridad en el caso de que el aceite a separar sea volátil y pueda llegar a formar atmósferas explosivas (ej. hidrocarburos).

Los procesos de eliminación de grasas y aceites son de gran importancia en el tratamiento de determinadas aguas industriales como en el refino de petróleo, petroquímicas, parques de almacenamiento de combustible, etc.

### **3.2.2. Eliminación de sólidos en suspensión**

Los dos procesos más utilizados para la eliminación de sólidos en suspensión de un agua residual, son:

- Decantación o sedimentación.
- Flotación con aire presurizado.

Ambos procesos se basan en la diferencia de densidad entre el agua residual y la partícula a eliminar. En los mismos se obtiene un agua clarificada por rebose del equipo y unos fangos más o menos concentrados dependiendo de la densidad y tamaño del sólido.

Al estudiar el sistema de flotación, se verá que es capaz de eliminar sólidos en suspensión de mayor densidad que el agua, así como aceites y grasas en estado libre.

En los dos procesos indicados anteriormente, no se van a separar coloides ni emulsiones, ya que al estar cargadas eléctricamente no va a ser posible su concentración en forma de lodo debido a las fuerzas de repulsión; igualmente en la decantación no se van a separar aquellas partículas con un tamaño muy fino, siendo preciso recurrir a otros tipos de procesos para su eliminación como se verá posteriormente.

Otro grupo de procesos para llevar a cabo la eliminación de sólidos en suspensión y de aplicación en algún caso como tratamiento final del agua es el de filtración sobre diferentes medios y en diferentes condiciones.

Estos procesos sólo se aplican en casos muy específicos y concretos como pueden ser en la reutilización del agua tratada, no siendo en consecuencia de utilización generalizada.

### **3.2.3. Eliminación de sólidos disueltos**

En este apartado se incluyen aquellos procesos de eliminación de los sólidos disueltos en un agua residual por medios físicos, como concentración por evaporación total o parcial del agua, separación del contaminante presente como puede ser intercambio iónico, adsorción, extracción mediante disolventes específicos o bien aquellos otros procesos que obtienen una fracción diluida y otra muy concentrada en el contaminante, entre éstos se encuentran ósmosis inversa, carbón activo, electrodiálisis, etc.

De la simple enumeración de los procesos anteriores, se comprueba que se derivan de otros campos de la tecnología, como la potabilización de aguas salobres o salinas, o bien de procesos netamente industriales, requiriendo unos equipos y unos costes de explotación y mantenimiento muy elevados, lo que supone que su utilización en el campo de la depuración de aguas residuales está restringido a aplicaciones muy concretas y específicas.

## **3.3. Tratamientos Biológicos**

Los tratamientos biológicos, son los encargados de eliminar la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales. Consisten en provocar el desarrollo de microorganismos capaces de asimilar la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, y a través de reacciones bioquímicas de oxidación y de síntesis de nuevos microorganismos, producir su eliminación.

En las reacciones de oxidación bioquímica se obtienen unos productos finales estables (inertes), y en los procesos de síntesis, nuevos microorganismos que se separan fácilmente por decantación posterior del agua.

Por realizarse este proceso mediante microorganismos, se le conoce con el nombre de tratamiento biológico, y es sencillamente la aplicación de las leyes de la naturaleza de autodepuración natural de los cauces receptores, llevada a cabo en condiciones de operación controladas y antes del vertido final.

Las reacciones bioquímicas tienen lugar de forma natural en los cauces receptores o bajo condiciones controladas en las estaciones de tratamiento de aguas residuales.

Los procesos biológicos se clasifican en dos grandes grupos de acuerdo con los microorganismos que intervengan y de las condiciones del medio en que tenga lugar:

- En presencia de oxígeno, transformando la materia orgánica biodegradable en nuevos microorganismos y unos productos finales estables que son fundamentalmente CO<sub>2</sub> y agua, así como posibles sales minerales como nitratos, sulfatos, etc.
- Los procesos anaerobios se llevan a cabo en ausencia de oxígeno, tomando los microorganismos el oxígeno que precisan para su metabolismo de los compuestos orgánicos que lo contengan en su composición, o bien de sales inorgánicas.

En este tipo de procesos, los productos finales de la reacción bioquímica son fundamentalmente CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, así como compuestos inorgánicos en sus formas reducidas, como sulfuros, nitrógeno, etc.

Al igual que en los procesos aerobios, también tienen lugar reacciones de síntesis o formación de nuevos microorganismos aunque en menor cantidad que en aquellos

Los microorganismos responsables de estos procesos son fundamentalmente bacterias.

Debido a los microorganismos que intervienen en las reacciones de tipo bioquímico, este tipo de procesos se ven afectados por una serie de factores que intervienen de forma decisiva en su mecanismo, como variaciones en la concentración de oxígeno y materia orgánica del agua a tratar, presencia de nutrientes, pH del medio y contenido en sales, compuestos tóxicos o inhibidores del crecimiento bacteriano, etc.

### 3.4. Tratamientos Químicos

Estos tratamientos se basan en la realización de una reacción de tipo químico entre un reactivo y determinados compuestos presentes en el agua residual, de tal forma que al final se obtienen otro compuesto en el que está involucrado el elemento a eliminar.

Debido a que las reacciones químicas ocurren entre compuestos químicos determinados y no como en los biológicos o físicos, estos procesos son muy selectivos para cada compuesto a eliminar o

grupos de compuestos muy afines. Esto lleva consigo que su aplicación sea muy específica y concreta a casos muy determinados y que excepto coagulación-floculación y recientemente la precipitación de fosfatos, sean de aplicación sólo en algunas aguas residuales de tipo industrial.

### **3.4.1 Coagulación-floculación**

Como ya se indicó al hablar de los procesos físicos, en aquellos era imposible la separación de materia coloidal y emulsionada, ya que al estar las partículas submicroscópicas cargadas eléctricamente, se repelen y en consecuencia no se pueden concentrar en forma de fangos o espumas.

El proceso de coagulación consiste en la dosificación de determinados compuestos químicos que provoquen la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides y en consecuencia dejarlos en condiciones que puedan ser decantados o flotados posteriormente.

Igualmente se ha indicado que si el tamaño de las partículas es muy pequeño, la decantación de las mismas es muy difícil debido a las fuerzas de rozamiento que se desarrollan al pasar las partículas a través de la masa de agua. Es factible la aglomeración de estas partículas en otras de mayor tamaño mediante la adición de determinados compuestos químicos, como son los polielectrolitos sintéticos.

La aglomeración de partículas muy finas en otras de mayor tamaño que permita su decantación posterior se conoce con el nombre de floculación.

De lo indicado anteriormente se deduce que los procesos de coagulación-floculación no pueden utilizarse independientemente sino que se encuentran ligados a un proceso físico posterior de eliminación de sólidos en suspensión, generalmente de decantación o de flotación.

### **3.4.2 Neutralización**

El proceso de neutralización o ajuste de pH a un valor próximo al neutro, es exclusivo de determinadas aguas residuales industriales, ya que las aguas urbanas tienen un valor de dicho parámetro próximo a 7,5, valor óptimo en el caso de los procesos biológicos.

La reacción de neutralización es preciso realizarla en muchas ocasiones antes de otros tratamientos con el fin de ajustar el valor del pH a los procesos siguientes.

El tiempo de reacción de estos procesos al igual que en el resto de las reacciones químicas es corto, ya que al tratarse de una reacción química de primer orden, la velocidad es muy rápida, siendo



necesario aumentar los tiempos de residencia cuando la reacción sea de tipo sólido-líquido como es el caso del empleo de cal como agente neutralizante.

El control de pH debe ser muy estricto ya que una dosificación en exceso o en defecto, impedirá alcanzar los objetivos previstos en la operación.

### 3.4.3 Precipitación

Los procesos de precipitación química se basan en la eliminación de un contaminante determinado que se encuentra en disolución por adición de un producto químico que lo transforma en un compuesto sólido. Esto lleva consigo la necesidad de un tratamiento posterior de eliminación del sólido precipitado mediante el proceso de decantación correspondiente.

Ejemplos típicos de este proceso son la eliminación de metales pesados, fluoruros, sulfuros, fosfatos, etc.

Estos procesos son exclusivos de algunas aguas residuales industriales, excepto la eliminación del fosfato, que se utiliza en determinadas ocasiones en aguas urbanas para evitar la eutrofización de los medios receptores.

### 3.4.4 Redox

En este tipo de procesos hay un intercambio de electrones entre el oxidante y el reductor de tal forma que la reacción química tiene lugar entre dos compuestos o iones concretos. El empleo de este tipo de procesos es exclusivo de algunos tipos de aguas residuales industriales, que precisan la eliminación de algún elemento antes de su vertido.

Son ejemplos típicos de procesos de depuración mediante reacciones redox, la eliminación de cromatos, cianuros y determinados compuestos orgánicos refractarios a los procesos biológicos.

Como oxidantes se emplean el cloro o alguno de sus derivados, así como ozono, agua oxigenada, etc. y como agentes reductores sales ferrosas, bisulfito sódico, etc.

Dentro de este grupo se podría incluir el proceso de desinfección con cloro u ozono, pues se trata de la reacción del reactivo con la materia orgánica para su oxidación, lo que afecta indudablemente a la materia de los gérmenes patógenos.

## 3.5. Tratamiento de fangos

A lo largo de algunos de los procesos de depuración indicados con anterioridad, se van a producir unos lodos o fangos en concentraciones bajas que hay que tratar antes de su evacuación de la depuradora.

Por otra parte en la composición de estos fangos pueden existir unas concentraciones de materia orgánica biodegradable muy importante, que será preciso estabilizar antes de su evacuación a destino final.

### 3.5.1 Espesamiento

Los lodos obtenidos en los diferentes procesos, tienen una concentración muy baja en sólidos, pudiendo llegar al 0,6-0,8% en los procedentes de los decantadores secundarios utilizados en los procesos biológicos, siendo preciso su concentración previa a cualquier tratamiento posterior, con el fin de disminuir su volumen y en consecuencia el tamaño de los equipos posteriores.

Los sistemas de espesamiento frecuentemente utilizados son de dos tipos:

- Gravedad.
- Flotación.

Ambos procesos se basan en los mismos principios que la decantación y flotación para eliminación de sólidos en suspensión, pero con unos parámetros de diseño diferentes.

### 3.5.2 Estabilización

Como se ha indicado anteriormente, una parte importante de los lodos (sobre todo los procedentes de un tratamiento biológico), están formados por materia orgánica biodegradable siendo preciso su estabilización antes de su evacuación final.

Mediante el proceso de estabilización se destruye la materia orgánica biodegradable presente en el lodo.

Los sistemas de estabilización pueden ser:

- Vía bioquímica (aerobia o anaerobia), con unos mecanismos similares a los procesos utilizados en la eliminación de materia orgánica del agua.
- Tratamiento o acondicionamiento químico, mediante el empleo de productos químicos, fundamentalmente cal.

- Tratamientos físicos, como incineración.

### 3.5.3 Deshidratación

Los fangos una vez espesados y estabilizados deben ser deshidratados hasta una concentración que permita su evacuación en forma sólida de la depuradora mediante camión u otro medio de transporte, hasta su destino final.

Las concentraciones mínimas en materia seca de las tortas para una buena evacuación, debe ser igual o superior a un 20% en materia seca.

Para alcanzar esta concentración o superiores, se utilizan diversos sistemas, siendo los más utilizados:

- Eras de secado
- Filtración (bandas, vacío, presión, etc.)
- Centrifugación
- Procesos térmicos

El destino final de los lodos generados, una vez deshidratados, en una planta depuradora de aguas residuales urbanas puede ser vertedero o reutilización con fines agrícolas.

En plantas industriales será precisa su caracterización, puesto que, la presencia de determinados compuestos (como metales pesados, hidrocarburos, etc.), les puede clasificar como residuo peligroso, obligando a que su destino final sea el vertedero de seguridad.

## 4. Regulación y homogeneización

Existe una gran cantidad de industrias que debido a su forma de fabricación por lotes o cargas, jornada de trabajo, tipo de producción, etc., originan unas aguas residuales que llegan a la planta depuradora con unas variaciones de caudal y / o composición a lo largo del día muy importantes lo que puede dar lugar a un funcionamiento incorrecto de la depuradora, o bien a un sobredimensionamiento de la misma.

En las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas por tratarse de volúmenes de agua elevados y que las variaciones en su caudal y composición pueden ser absorbidos por la depuradora, no se emplean este tipo de procesos, que por otra parte darían lugar a unas balsas de unas dimensiones importantes.

En algunas depuradoras urbanas, al comienzo de la planta, se instalan unas balsas en paralelo o derivación, denominada “*balsa de tormentas*” para recoger los primeros volúmenes de estas aguas, que son las más contaminadas, con el fin de realizar su tratamiento posterior, cuando cesen las lluvias y la planta tenga capacidad de tratarlas.

De lo indicado con anterioridad, se llega a que estos procesos solamente se instalarán en aquellas plantas depuradoras de aguas industriales que lo precisen. Los procesos utilizados son regulación del caudal y homogeneización de composición.

### 4.1. Objetivos del proceso de regulación y homogeneización

En aquellas plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, en las que el caudal o la composición varíen de forma importante a lo largo del día, es preciso llevar a cabo la regulación del caudal o la homogeneización de su composición, con el fin de conseguir que la futura planta depuradora trabaje en las condiciones más uniformes posibles.

Entre las ventajas de un influente regularizado u homogeneizado destacan:

- Mejora los rendimientos de los procesos, fundamentalmente los biológicos.
- Facilita el control de la instalación.
- Aumenta la vida de las instalaciones, al trabajar en condiciones constantes.
- Facilita las operaciones y programación de los trabajos de mantenimiento.

- Permite optimizar el tamaño de la instalación.
- Evitar el sobredimensionamiento de la depuradora.

## 4.2. Regulación del caudal

### 4.2.1 Fundamentos del proceso

La regulación del flujo de agua que llega a la planta depuradora, consiste en la laminación de los picos y valles de caudal, de tal forma que la instalación de depuración trabaje con un caudal constante, lo que lleva consigo un incremento de la eficiencia de los diferentes procesos y operaciones unitarias que la componen.

Si el agua residual tiene sólidos en suspensión, las balsas o tanques de regulación deben estar agitados para evitar su decantación.

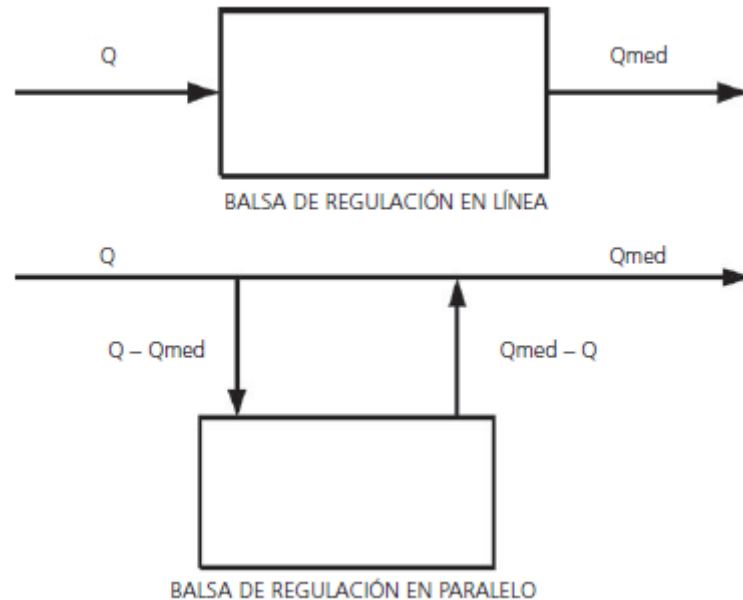
Básicamente, el proceso de regulación del caudal, consiste en una balsa o tanque de volumen adecuado donde tiene lugar la acumulación del exceso de agua cuando el caudal de llegada es mayor que el caudal medio, y de donde se extrae cuando el caudal de llegada a la planta es menor que el medio. De acuerdo con lo indicado anteriormente la balsa de regulación embalsará agua cuando el caudal que llega a la instalación sea mayor que el caudal medio. La balsa de regulación desembalsará agua, cuando el caudal de agua de llegada a la instalación sea menor que el caudal medio.

Por la forma de trabajar de una balsa o tanque de regulación se deduce que su nivel a lo largo del tiempo es variable.

### 4.2.2 Formas de operación

Las dos formas básicas de operación de las balsas o tanques de regulación de caudal son en línea o serie, la balsa de regulación está en línea con la alimentación a la planta depuradora y, en consecuencia, todo el agua residual pasará a través del tanque o balsa de regulación.

En derivación o paralelo, solamente se deriva a la balsa de regulación el caudal que excede del medio, que es reenviado a la depuradora cuando el caudal de llegada sea inferior al medio.



Siendo  $Q$ : caudal de llegada a la planta,  $m^3/h$  y  $Q_{med}$ : caudal medio,  $m^3/h$

#### 4.2.3 Diseño

Las bases de diseño vendrán definidas por la variación de los caudales de alimentación a la instalación a lo largo de un periodo de tiempo.

#### 4.2.4 Dimensionamiento

El volumen requerido para la balsa de regulación del caudal se puede determinar mediante la representación gráfica de la variación de caudal a lo largo del día o bien mediante la preparación de una hoja de cálculo.

Para llevar a cabo el segundo de los métodos indicados, más exacto y fácil de realizar que el primero, se preparara una hoja de cálculo con las siguientes columnas:

- Tiempo (de hora en hora).
- Volumen de agua que llega a la planta en el referido periodo de tiempo ( $m^3$ ).
- Volumen acumulado de agua que llega a la planta desde el tiempo cero ( $m^3$ ). El volumen de agua acumulado en un día dividido por 24 h dará el caudal medio ( $m^3/h$ ).

- Volumen de agua extraído de la balsa desde el tiempo cero, que corresponderá con el caudal medio multiplicado por el número de horas transcurrido.
- Diferencia entre las dos columnas anteriores.

Ésta última columna será un conjunto de valores positivos y negativos.

Los valores positivos corresponden con la cantidad de agua que se precisa almacenar, al ser las cantidades extraídas inferiores a las llegadas.

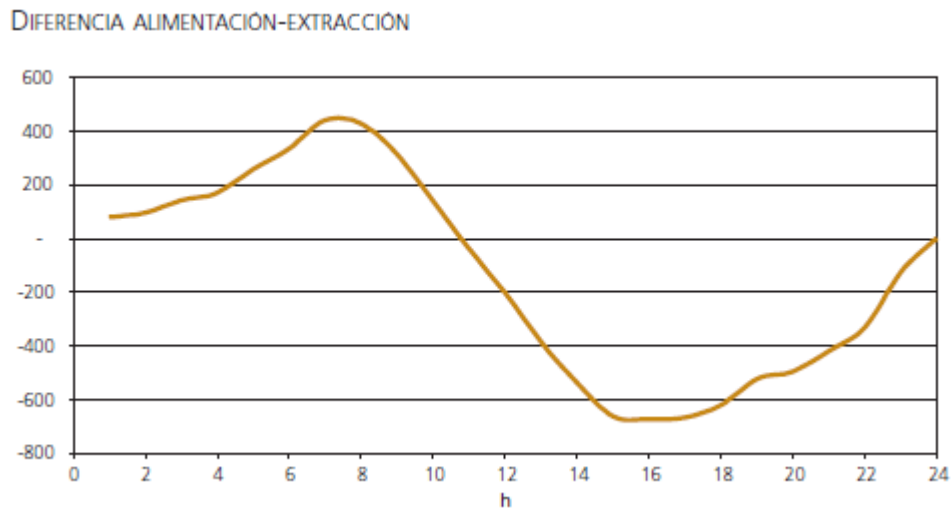
Los valores negativos representan el agua que se precisa tener almacenada para aquellos periodos de tiempo en que las extracciones sean superiores a las aportaciones.

El volumen de la balsa de regulación será la suma del valor máximo positivo y del valor mínimo negativo en valor absoluto. En el caso de que no existan valores positivos o negativos, estos últimos términos serán cero.

En la tabla incluida a continuación, se recoge un ejemplo de la forma de realizar la tabla indicada con anterioridad.

Intervalo tiempo	Volumen horario	Acumulado alimentación	Acumulado extraído	Diferencial alimentación-extraído
h	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
0-1	310	310	233	77
1-2	250	560	466	94
2-3	280	840	699	141
3-4	260	1100	932	168
4-5	320	1420	1.165	255
5-6	310	1730	1.398	332
6-7	340	2070	1.631	439
7-8	220	2290	1.864	426
8-9	120	2410	2.097	313
9-10	60	2470	2.330	140
10-11	55	2525	2.563	-38
11-12	68	2593	2.797	-204
12-13	50	2643	3.030	-387
13-14	80	2723	3.263	-540
14-15	110	2833	3.496	-663
15-16	220	3053	3.729	-676
16-17	240	3293	3.962	-669
17-18	280	3573	4.195	-622
18-19	330	3903	4.428	-625
19-20	260	4163	4.661	-498
20-21	310	4473	4.894	-421
21-22	320	4793	5.127	-334
22-23	440	5233	5.360	-127
23-24	360	5593	5.593	0
Caudal medio m <sup>3</sup> /h			5593/24 = 233	

En este caso el volumen de la balsa será de 1.115 m<sup>3</sup>. Si se representa gráficamente la última columna frente al tiempo, se obtiene en este caso la curva siguiente:



En esta gráfica, se tiene dos zonas de curvatura:

- *Zona descendente*: significa que se está desembalsando agua, o lo que es lo mismo, el caudal de agua que llega es menor que el que se extrae.
- *Zona ascendente*: el agua que llega es mayor que la que se saca y en consecuencia se está embalsando.

### 4.3. Homogeneización del influente

#### 4.3.1 Fundamentos del proceso

En determinadas plantas industriales, la composición del agua residual de alimentación a la depuradora varía de forma notable a lo largo del día, o bien se producen descargas puntuales con altas concentraciones de sus contaminantes.

Si estas variaciones son importantes es preciso llevar a cabo una homogeneización del mismo, con el fin de que la planta depuradora trabaje en las mejores condiciones posibles.



La homogeneización de la composición del influente de una estación depuradora de aguas industriales, consiste en la laminación de los picos y valles de contaminación que llegan a la instalación, de tal forma que la alimentación a la misma sea lo más homogénea posible.

Básicamente el proceso de homogeneización, consiste en una balsa o tanque del volumen adecuado, trabajando siempre lleno que actúa como pulmón, donde tiene lugar la homogeneización del agua residual.

De acuerdo con lo indicado anteriormente cuando llegue un influente con una concentración superior a la media, esta se diluirá en el agua acumulada de la balsa de homogeneización y cuando llegue un influente con una concentración inferior a la media, esta al mezclarse con el agua de la balsa aumentará su concentración.

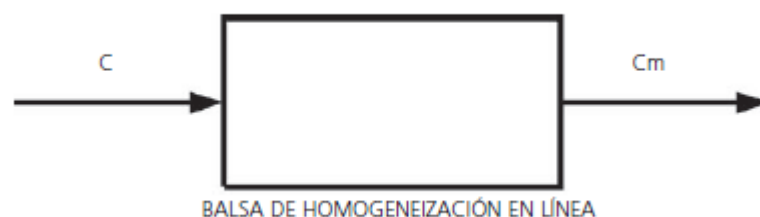
#### 4.3.2 Formas de operación

De acuerdo con lo indicado anteriormente, la forma de trabajar una balsa o tanque de homogeneización es siempre llena, de tal forma que el volumen de agua existente en la misma sirva de amortiguación de los picos o valles de contaminación.

Por otra parte para que tenga lugar una correcta homogeneización entre el influente y el agua presente en la balsa, es preciso que la balsa se encuentre agitada.

El tipo de agitación precisa en una balsa de homogeneización, es una agitación suave.

La única opción de llevar a cabo el proceso de homogeneización es en línea o serie, la balsa de homogeneización está en línea con la alimentación a la planta depuradora, y en consecuencia todo el agua residual pasa a través del tanque o balsa de homogeneización. En el caso de homogeneización no es posible el trabajar en paralelo o derivación. Siendo  $C$ : *concentración en la alimentación* y  $C_m$ : *concentración media*.



### 4.3.3 Bases de diseño

El volumen de la balsa de homogeneización vendrá definido en función de las variaciones de la calidad del influente, originadas por los procesos productivos.

### 4.3.4 Dimensionado equipos

La forma de determinar el volumen de una balsa o tanque de homogeneización se puede realizar al igual que en el caso de las balsas de regulación, por representación gráfica, o bien mediante la preparación de una hoja de cálculo, pero utilizando en este caso kilos de contaminante en lugar de volúmenes de agua como en el caso de la regulación.

Es importante tener en cuenta, que las balsas de regulación cuando están en línea, durante la mayor parte de su tiempo están parcialmente llenas con agua, con lo que se va a conseguir un cierto grado de homogeneización del influente, siempre que dispongan de agitación.

## 4.4. Normas generales de diseño

En el diseño de estos equipos habrá que tener en cuenta:

- Las balsas de regulación trabajan a nivel variable, y no precisan agitación salvo que el agua tenga en su composición sólidos en suspensión para evitar su decantación, o bien se pretenda conseguir un cierto grado de homogeneización.
- Las balsas de homogeneización trabajan a nivel fijo y siempre llenas, precisando agitación.

Los dos sistemas básicos de agitación son:

- Agitación mecánica. La potencia de mezcla debe ser del orden de 15-25 w / m<sup>3</sup> de agua.
- En el caso de las balsas o tanque de regulación que trabajan siempre a nivel variable, hay que tener en cuenta que los agitadores no pueden quedarse al aire.
- Agitación mediante inyección de aire a través de difusores. La cantidad de aire debe estar entre 0,4 y 0,6 m<sup>3</sup> de aire / m<sup>3</sup> \* hora.
- El tipo de difusores a emplear, son de burbuja media o gruesa.

En la práctica, el volumen del tanque de homogeneización o bien, el de regulación debe ser superior al determinado teóricamente para tener en cuenta los siguientes factores:

- La operación continua de los equipos de agitación y mezclado de las balsas de homogeneización y las de regulación en el caso de que sean precisos, no permitirán un vaciado total.
- El retorno a cabeza de planta de sobrenadantes y filtrados exige un volumen adicional sobre el previsto.
- Debe tenerse en cuenta un volumen adicional para hacer frente a los imprevistos que puedan producirse por cambios no esperados del caudal o composición diarios.
- A pesar de que no puede darse ningún valor fijo, el volumen adicional puede variar entre el 10 y el 20% del valor calculado.

## 5. Procesos unitarios

### 5.1. Desbaste

Por diversos caminos, una gran cantidad de "cosas" de mayor o menor tamaño acaban llegando a las alcantarillas o redes de colectores y en consecuencia a la planta de tratamiento de aguas residuales. Latas, botellas, piezas de metal, palos, piedras, juguetes, envases, tapones, etc., se encuentran de forma habitual, acompañando al agua residual, en el influente de las plantas depuradoras urbanas. Sacos, plásticos, envases, trapos, herramientas, etc., llegan frecuentemente a las plantas depuradoras de aguas residuales industriales.

Estos materiales ocasionan problemas de diferente índole a las instalaciones de depuración, pueden provocar la obstrucción de colectores, canales o tuberías, dañar equipos de bombeo, bloquear mecanismos en movimiento o atascar las purgas de las unidades, entre otros problemas. Si el problema se origina en una conducción enterrada, mecanismo inaccesible o unidad crítica, las consecuencias pueden ser muy graves para la planta depuradora.

La primera operación que se realiza en todas las plantas depuradoras de aguas residuales ya sea urbana o industrial, es la de desbaste.

El desbaste consiste en la separación de los sólidos de volumen elevado, que como se ha indicado anteriormente, producirían gravísimas alteraciones en el normal funcionamiento de la planta.

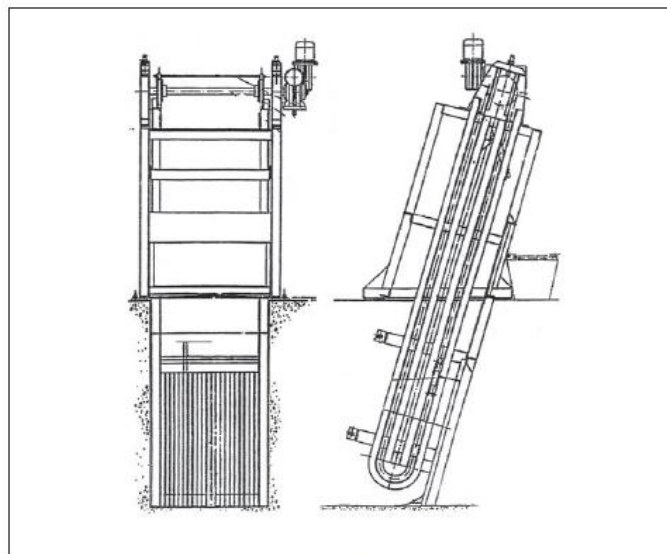
Entre los objetivos que tienen encomendado los procesos de desbaste, se encuentran como los más importantes:

- Protección mecánica de los equipos.
- Evitar posibles alteraciones a la circulación del agua residual a través de la depuradora.
- Evitar la presencia de sólidos inertes de gran tamaño en el tratamiento de fangos.
- Obstrucción de las líneas y canales de la planta.
- Evitar la deposición de estos residuos en los canales y equipos.

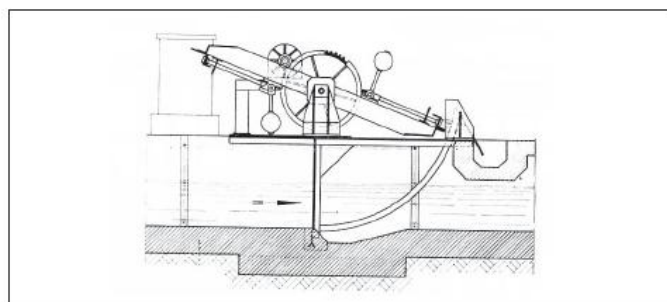
Para llevar a cabo las misiones indicadas anteriormente, en las plantas depuradoras de aguas residuales se utilizan diferentes procesos, siendo los más importantes los siguientes:

- Pozos de gruesos.
- Rejas.
- Tamices.
- Dilaceradores.

A los sólidos de gran tamaño extraídos en el proceso de desbaste, se les conoce en las depuradoras urbanas con el nombre genérico de basuras (por su composición parecida a las basuras urbanas), o de residuos, siendo su destino final en estas instalaciones de forma generalizado el envío a vertedero municipal.



REJA AUTOMÁTICA.



REJA CIRCULAR.

## 5.2. Desarenado

El desarenado consiste en un proceso en el que se produce una separación por decantación diferencial o selectiva, de todas aquellos sólidos en suspensión de densidad elevada (compuestos inorgánicos), impidiendo la sedimentación de la materia en suspensión de baja densidad (de naturaleza orgánica).

Las partículas de naturaleza inorgánica eliminadas en este proceso, son conocidas con el nombre genérico de arenas, incluyendo en dicha denominación otros productos presentes en el agua residual, como pueden ser escorias, gravas, cáscaras de huevo, objetos metálicos, etc.

La característica fundamental de estos elementos inorgánicos separados en este proceso es que son totalmente estables, lo que conlleva que no se van a generar descomposiciones posteriores de los mismos.

Estas unidades en sus diferentes versiones, son utilizadas en todas las plantas depuradoras urbanas, no siendo de utilidad de forma general en las depuradoras de aguas industriales. Dentro de la industria se pueden encontrar en las azucareras en el tratamiento de las aguas de arrastre y transporte de la remolacha.

En las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas, el proceso de desarenado es el segundo que se instala a continuación del desbaste, con el fin de eliminar los sólidos en suspensión de densidad elevada, por los graves problemas que estos contaminantes pueden ocasionar a las instalaciones.

Los desarenadores eliminan todos aquellos sólidos en suspensión, con un peso específico igual o mayor de 2,65 y un tamaño de partícula superior a 0,15-0,2 mm.

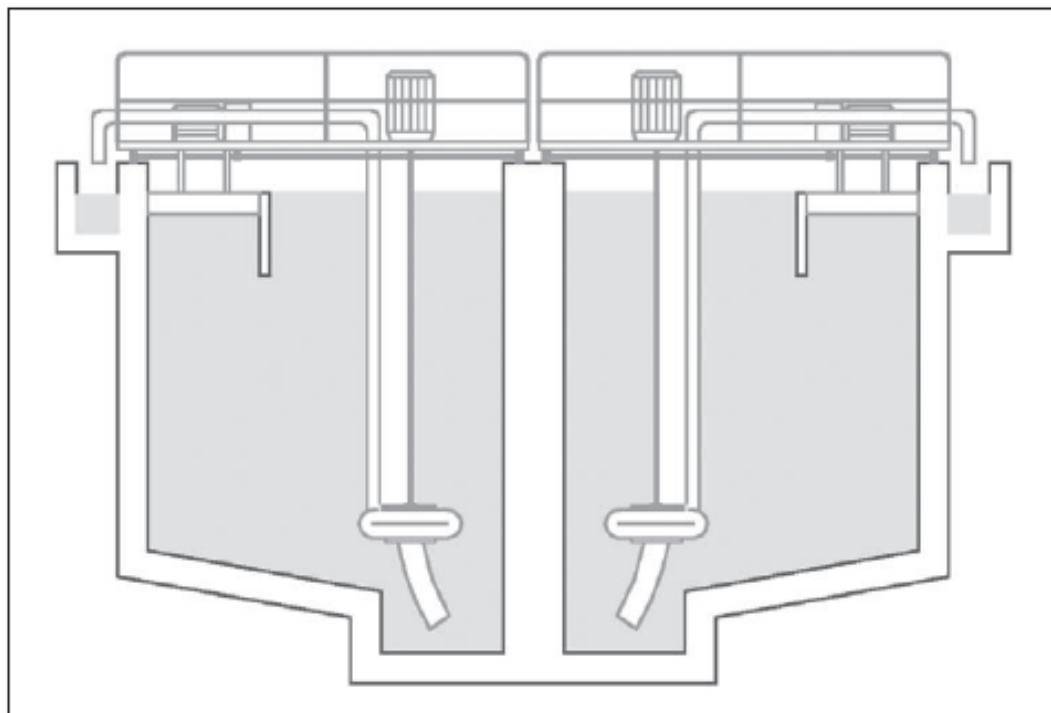
Entre los fines más importantes encomendados al proceso de desarenado, se encuentran los siguientes:

- Evitar problemas de abrasión en los equipos mecánicos, al tratarse las arenas de compuestos de elevada dureza, aumentando con ello la vida de los diferentes equipos de la planta y en consecuencia la vida útil de la depuradora.
- Eliminar deposiciones en canales y tuberías.
- Evitar la presencia de sólidos inertes en la línea de tratamiento de fangos.

- Mayor facilidad de evacuación de la planta depuradora, al tratarse de sólidos inertes, y poder ser su destino final los vertederos de inertes.
- Su no retirada en esta operación, supondría su eliminación con los fangos primarios, depositándose en el fondo de los digestores, dando lugar a operaciones de limpieza engorrosas además de ocupar volumen inútilmente.

Los sistemas utilizados en el proceso de desarenado son los siguientes:

- Desarenadores de flujo horizontal, de aplicación exclusivamente en plantas pequeñas, por los bajos rendimientos que se obtienen.
- Desarenadores de sección cuadrada. Estas unidades han caído en desuso, por los problemas mecánicos que presentaban.
- Desarenadores aireados.
- Otros.



EXTRACCIÓN DE ARENA.

### 5.3. Separación de grasas y aceites

Los compuestos líquidos, insolubles en el agua y de densidad menor que esta, (grasas y aceites), llegan en muy diferente cuantía a las plantas depuradoras de aguas residuales.

Dentro del grupo de contaminantes denominados grasas y aceites, se van a encontrar aquellas de origen animal, vegetal o mineral. Dentro de este último tienen una gran importancia el petróleo y gran parte de sus derivados.

En las depuradoras de tipo urbano su concentración es relativamente baja, lo que justifica que no se empleen procesos específicos para su separación, eliminándose los residuos de este tipo en los desarenadores aireados o bien en los procesos de tipo biológico.

En algunas plantas industriales su generación puede ser importante, como por ejemplo en refino del petróleo, petroquímicas, almacenamiento de combustibles, etc, por lo que se han desarrollado técnicas y procesos específicos para su eliminación.

El proceso de separación de grasas y aceites consiste en la eliminación del agua residual de este tipo de contaminantes ahora y siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- Estén en fase líquida.
- Se encuentren en estado libre (no eliminándose en consecuencia aquellas grasas y aceites que se encuentren disueltos o emulsionados).
- Tengan una densidad menor que la del agua.
- El tamaño de la gota sea superior a un valor predeterminado en el diseño.

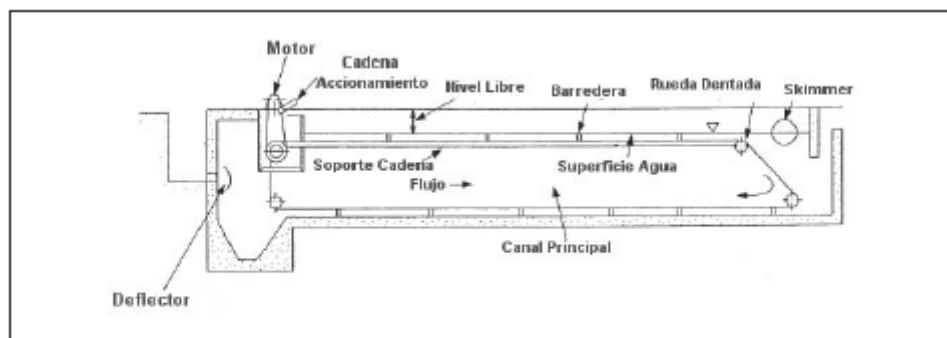
Generalmente el punto de corte se fija en 0,15 mm. Esta operación unitaria, como ya se ha indicado con anterioridad, es de gran importancia en determinadas aguas residuales industriales.

Entre las funciones que tiene encomendado el proceso de separación de grasas y aceites, se encuentran:

- Eliminación de la mayor parte de este contaminante del agua residual.



- Por tratarse en un numero importante de casos de hidrocarburos volátiles, evitar la posible formación de atmósferas tóxicas y/o peligrosas.
- Disminuir riesgos de incendios por acumulación de compuestos potencialmente combustibles en las superficies.
- Evitar su presencia en los procesos biológicos por la toxicidad de una parte de estos compuestos.



ESQUEMA DE UN SEPARADOR TIPO API.

## 5.4. Decantación

El proceso de decantación es una de las operaciones unitarias más antiguas que se conocen de las empleadas en el tratamiento de aguas residuales, ya sean urbanas o industriales, así como una de las más utilizadas en la actualidad, siendo un proceso netamente físico de eliminación de sólidos en suspensión por diferencia de densidad, de tal forma que las partículas con mayor densidad que el agua, son separadas por la acción exclusiva de la gravedad.

En estas unidades no se separan aquellos sólidos en suspensión con un tamaño de partícula muy fino ni aquellos otros que se encuentren en estado coloidal, así como los que tengan una densidad próxima o inferior a la del agua a tratar.

El proceso de decantación es igualmente conocido con el nombre de sedimentación.

El objetivo del proceso de decantación es la eliminación de los sólidos en suspensión presentes en un agua residual, obteniéndose un líquido claro sobrenadante en la superficie del equipo y unos sólidos que son extraídos en forma de fangos o lodos, con una concentración más o menos elevada por el fondo. La concentración alcanzada en los fangos dependerá entre otros motivos de:

- Naturaleza de los sólidos (composición, densidad, tamaño,...)
- Parámetros de diseño.
- Tipo de equipo utilizado.

En aquellos casos en que el único contaminante presente en las aguas residuales sean sólidos en suspensión, la decantación se lleva a cabo única y exclusivamente para eliminar este contaminante antes de su vertido al cauce receptor, con el fin de cumplir la normativa legal aplicable.

Entre los fines que tiene encomendado el proceso de decantación, se encuentran:

- Proteger los procesos posteriores sobretodo los de oxidación biológica de la presencia de fangos inertes.
- Evitar su vertido al cauce receptor, por la problemática que ocasionan en el mismo.
- Cumplir la normativa legal vigente.
- En aquellos casos en que los sólidos en suspensión sean de naturaleza orgánica y generen DBO, en el proceso de decantación va a tener lugar además de la eliminación de los mismos, la disminución de la DBO asociada a los sólidos, lo que redundará en unos procesos biológicos posteriores de menor tamaño, y una reducción del consumo energético.

El proceso de decantación se basa en la diferencia de peso específico entre la partícula sólida a separar y el agua, de tal forma que una disminución de la velocidad ascensional del líquido a un valor menor que la de caída del sólido, permita que la materia sedimentable se deposite en el fondo del equipo.

La decantación de partículas y en unas concentraciones en que no existan interferencias entre ellas puede ser estudiadas mediante las leyes de Newton y Stokes.

Los tres tipos de equipos de decantadores utilizados son:

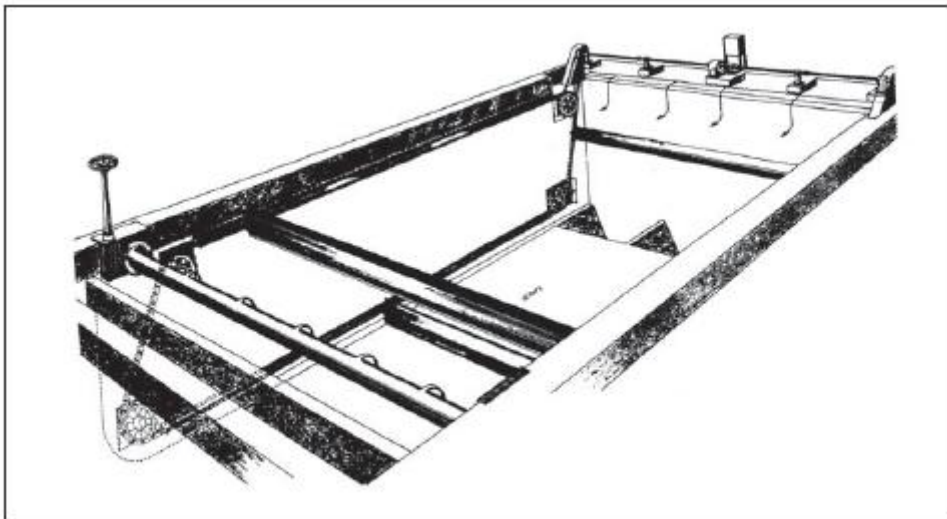
- Rectangulares
- Circulares

- Lamelas.

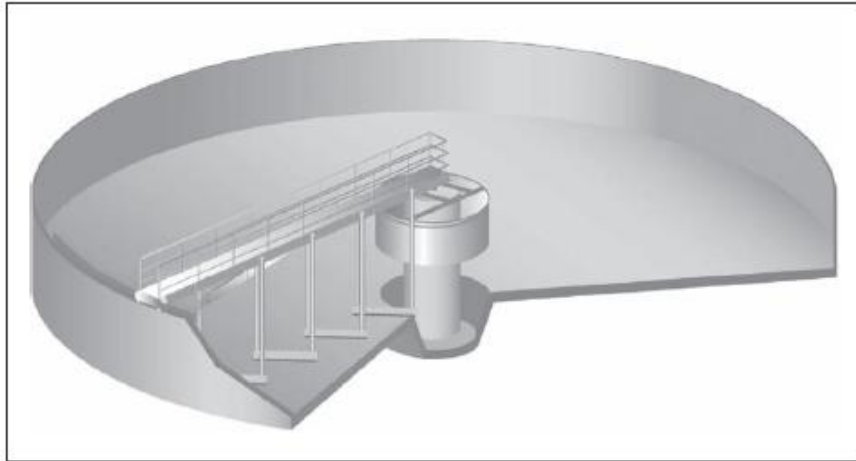
La elección de uno u otro tipo de equipos dependerá de una serie de factores como:

- Tamaño de la instalación.
- Terreno disponible y de sus condiciones.
- Experiencia del proyectista.
- Estimación de costes.

Los equipos utilizados en la mayoría de las plantas depuradoras en España son de tipo circular.



DECANTADOR RECTANGULAR.



DECANTADOR CIRCULAR.

## 5.5. Flotación

El proceso de flotación con aire es utilizado en el tratamiento de aguas residuales con el fin de eliminar:

- Sólidos en suspensión de densidad igual o inferior a la del agua.
- Partículas de grasas y aceites si se encuentran en estado libre.

La separación se lleva a cabo introduciendo o formando burbujas de aire de un tamaño muy fino en el agua residual. Estas burbujas tienden a fijarse en la superficie de la materia a separar, de tal forma que el peso específico del conjunto partícula-aire, es menor que el del agua, creándose una velocidad ascensional suficiente para que la partícula alcance la superficie del líquido, consiguiendo con este método, que incluso partículas con mayor densidad que el agua, puedan ser separadas por flotación en superficie, de donde son retiradas mediante los mecanismos apropiados.

En este tipo de procesos se obtiene además del agua tratada, un residuo de fangos de flotación o “natas” que contienen los sólidos en suspensión y las grasas y aceites separados.

El fin fundamental de los procesos de flotación es eliminar los sólidos en suspensión de menor densidad que el agua, y por tanto no eliminables a través de los procesos de decantación estudiados con anterioridad, la eliminación de aceites y grasas no eliminados en los sistemas de separación específicos ya comentados en los pretratamientos, y sólidos en suspensión incluso con densidad mayor que el agua.

Estos procesos no se utilizan en la línea de agua de las plantas depuradoras urbanas empleándose con mayor amplitud en determinadas plantas depuradoras industriales, como pueden ser en refino de petróleo, petroquímicas, alimentación, etc.

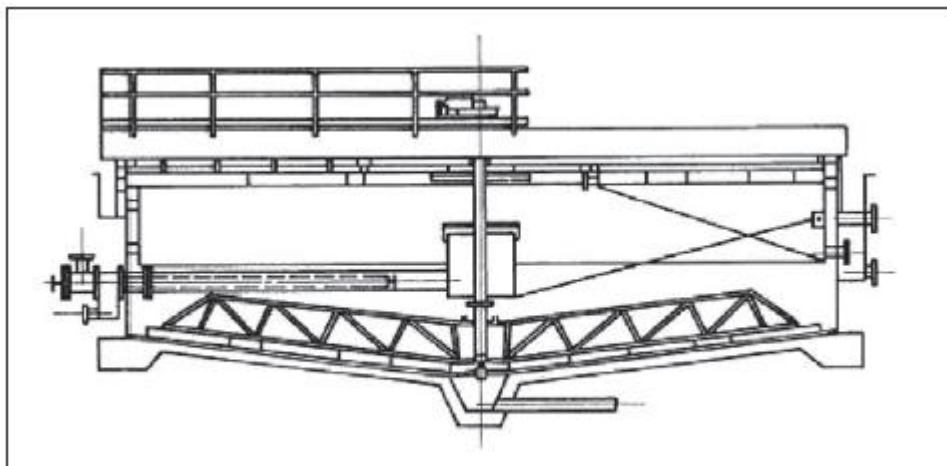
Al igual que en el proceso de decantación, se evita la presencia de estos contaminantes en tratamientos posteriores o bien en el vertido del agua al cauce receptor.

Existen diferentes formas de llevar a cabo el proceso de flotación, radicado las diferencias entre ellos, en la forma de generar o introducir las burbujas de aire en el seno del agua.

Los tres procesos más conocidos en depuración de aguas son:

- Introducción del aire en el agua residual a presión atmosférica
- Flotación por disolución de aire a presión (DAF).
- Flotación por aire inducido (IAF).

El sistema de flotación que produce un mejor rendimiento de separación y en consecuencia el más utilizado, es el de flotación por aire disuelto aunque también es más complejo.



ESQUEMA DEL TANQUE DE FLOTACION

## 5.6. Procesos biológicos

Los tratamientos biológicos son los encargados de eliminar la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales.

Consisten básicamente en provocar el desarrollo de microorganismos capaces de asimilar la materia orgánica biodegradable, utilizándola como sustrato o fuente de alimentación, para que una parte la transformen en nuevos microorganismos y otra sea oxidada.

Por realizarse este proceso mediante microorganismos, se conoce con el nombre de tratamiento biológico o bioquímico, y supone sencillamente la aplicación de las leyes naturales de la autodepuración que tienen lugar en los cauces receptores, llevada a cabo en este caso en condiciones controladas.

Las reacciones bioquímicas que tienen lugar de forma natural en los cauces receptores, o bajo condiciones controladas en las plantas de tratamiento, se clasifican en dos grandes grupos, de acuerdo con los microorganismos que las llevan a cabo:

- Reacciones aerobias: Se producen en presencia de oxígeno disuelto en el agua.
- Reacciones anaerobias: Se producen en ausencia de oxígeno disuelto, tomando el preciso para las reacciones de síntesis de los compuestos orgánicos que lo contienen (ácidos, alcoholes, aldehídos, etc.) o bien de sales inorgánicas, como nitratos o sulfatos.

El objetivo fundamental de los procesos biológicos es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales, a través de reacciones bioquímicas, en las que intervienen microorganismos vivos.

Las funciones más importantes llevadas a cabo por los procesos biológicos, son las siguientes:

- Eliminación de la materia orgánica biodegradable del agua residual y en consecuencia cumplir la normativa legal vigente con referencia a este parámetro.

Vía procesos biológicos pueden eliminarse otros contaminantes, como compuestos de nitrógeno y fósforo.

- Evitar que la biodegradación de la materia orgánica, tenga lugar en el cauce receptor.

La descarga de materia orgánica biodegradable produce en el cauce receptor una demanda o consumo de oxígeno y, en consecuencia, la disminución de este elemento en el agua, puede provocar una disminución o eliminación de la vida en el cauce.

- Evitar condiciones anaerobias en el receptor.
- La presencia de las diferentes especies de seres vivos en el cauce receptor está condicionada con la concentración de oxígeno en el mismo.

Así, a título de ejemplo, los salmónidos requieren unas concentraciones de este elemento superiores a 8 ppm. La presencia de DBO conlleva una disminución del oxígeno y en consecuencia su desaparición.

La primera clasificación de los procesos biológicos viene dada por *Procesos aerobios* y *Procesos anaerobios*.

Dependiendo que se lleven a cabo en presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua.

Independientemente de que el proceso sea aerobio o anaerobio, los tratamientos biológicos pueden dividirse en:

- Biomasa en estado libre o en suspensión, en los cuales los microorganismos responsables del proceso se encuentran en mezcla íntima con el agua residual a tratar.
- Biomasa en lecho fijo. En los cuales los microorganismos se encuentran fijados sobre un soporte físico, pasando el agua a través del mismo.

Dentro de este grupo hay una serie de variantes como:

- Soporte fijo, como es el caso de los filtros percoladores.
- Soporte móvil, biodiscos, biotambores, etc.
- Lechos fluidificados, en los que la biomasa se encuentra fijada sobre un soporte formado por partículas sólidas, que se mantiene en suspensión por la velocidad ascensional del agua en el tanque.

## 5.7. Tratamientos no convencionales

En pequeños municipios la experiencia ha demostrado que las plantas depuradoras de aguas residuales, basadas en tecnologías convencionales, originan problemas, tanto técnicos como económicos, que hacen que un gran número de éstas instalaciones queden fuera de servicio en un plazo de tiempo muy corto.

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto se han desarrollado otras tecnologías denominadas "blandas" o "no convencionales" tratando de minimizar las dificultades reseñadas para los citados municipios.

En este capítulo trataremos de dar una amplia visión de estos métodos "blandos", en lo referente a su concepción, dimensionamiento y explotación.

Estudiaremos el "lagunaje natural", "lechos de turba", "filtros verdes" y "biodiscos".

### **Lagunaje**

La aplicación de otro tipo de tecnologías respecto a las tecnologías tradicionales, basadas en procesos de autodepuración natural, consigue la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales con unos costes de operación inferior y con unas necesidades de mantenimiento menores a los de la depuración tradicional.

El tratamiento por lagunaje de aguas residuales consiste en el almacenamiento de éstas durante un tiempo variable en función de la carga aplicada y las condiciones climáticas, de forma que la materia orgánica resulte degradada mediante la actividad de bacterias heterótrofas presentes en el medio. Puesto que en la depuración por lagunaje no interviene para nada la acción del hombre, quien se limita a proporcionar un emplazamiento adecuado para las balsas, el lagunaje es un método biológico natural de tratamiento, basado en los mismos principios por los que tiene lugar la autodepuración en ríos y lagos.

Al estar basada esta tecnología en procesos biológicos naturales, los rendimientos de depuración que se alcanzan están muy relacionados con las condiciones climáticas imperantes. Por otra parte, estos procesos biológicos se ven muy afectados por la presencia en el agua residual de sustancias anómalas, procedentes de vertidos industriales que pueden llegar a hacer inviable su tratamiento.

Por lo tanto en el lagunaje se obtendrá una eliminación de la materia orgánica presente, de origen urbano fundamentalmente, de una manera económicamente viable sin prescindir de la reducción de gérmenes patógenos.



### **Lechos de turba**

La aplicación de la depuración mediante filtración en lechos de turba respecto a las tecnologías tradicionales, basadas en procesos de autodepuración natural, consigue la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales con unos costes de operación inferiores y con unas necesidades de mantenimiento menores a los de la depuración tradicional.

La depuración se realiza, en primer lugar, por retención de los materiales en suspensión y por adsorción en el seno del tejido vegetal fibroso. Además la turba puede ser considerada como un medio vivo en evolución y en ella se mantiene y desarrolla una actividad bacteriana que da lugar a la digestión biológica de la materia orgánica.

El elemento esencial de una instalación de depuración de este tipo es un lecho de turba a través del cual circula el agua residual. Dicho lecho descansa sobre una delgada capa de arena, soportada a su vez por una capa de grava; un dispositivo de drenaje recoge el efluente en la base del sistema que puede realizarse, simplemente, practicando una excavación que en caso necesario se aísla del terreno circundante mediante una lámina impermeable o cualquier otro método adecuado.

Por otra parte, el sistema puede funcionar como lecho inundado o como lecho de percolación (lecho de turba aerobio), lo que depende de la utilización que resulte más eficaz. El lecho inundado no es muy recomendable pues puede entrar en anaerobiosis. En todo caso, se distribuye el agua sobre la superficie del lecho mediante un dispositivo de reparto, a efectos de evitar caminos preferentes de circulación que reducirían, notablemente, el rendimiento de depuración.

Los lechos de turba participan de las ventajas de los lagunajes de pequeño calado y poco tiempo de retención, y de los filtros bacterianos donde tienen lugar fenómenos físicos de filtración y de absorción, químicos de oxidación reducción y biológicos por desarrollo de la biomasa en un soporte fijo; así la turba actúa como un gran catalizador donde el agua residual, sufre un proceso de estabilización biológica y de reducción de sólidos en suspensión.

El lecho de turba, o el lagunaje sobre turba, constituye un filtro bacteriano con pequeñas cargas de agua residual y ciclos operativos largos y periódicos de inundación y descanso-aireación y en el que se producen fenómenos biológicos de síntesis-estabilización biológica, de tipo físico con filtración-retención y físicoquímicos de adsorción, por las peculiares características que el medio filtrante, compuesto de turba, tiene en relación con las materias coloidales y disueltas.

La acción depuradora se basa, en síntesis esquemática, en la infiltración del agua residual a través de la turba, que sirve de soporte físico para el desarrollo de bacterias y microorganismos y pone en contacto esta masa microbiana con los compuestos y elementos que el agua residual lleva disuelta, produciéndose reacciones de tipo físico-químico y de síntesis y estabilización biológica a través de las cuales, las materias en suspensión e incluso un gran porcentaje de las disueltas, son retenidas y transformadas por oxidación-reducción de tipo aeróbico o facultativo, en compuestos más simples o naturales.

La turba, por sus características físico-químicas, constituye un excelente soporte para la fijación y crecimiento de las colonias bacterianas y un medio de filtración de sólidos en suspensión.

En el ciclo de descanso, las labores de rastrillado y volteo de la capa de turba favorecen la digestión aerobia, restituyendo las condiciones básicas de filtrabilidad y capacidad de adsorción del material.

Además de la reducción de la contaminación física y orgánica se produce una reducción de la concentración de contaminación bacteriana (expresada en "colis").

### **Filtro verde**

La aplicación de la depuración mediante filtros verde respecto a las tecnologías tradicionales, basadas en procesos de autodepuración natural, consigue la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales con unos costes de operación inferior y con unas necesidades de mantenimiento menores a los de la depuración tradicional.

Un filtro verde es un sistema formado por terreno cubierto de cultivos agrícolas o plantaciones forestales (generalmente esta última), sobre el que se distribuyen periódicamente aguas residuales procedentes de núcleos urbanos, con el fin de conseguir su depuración mediante la acción conjunta del suelo, microorganismos y plantas, con una triple acción física, química y biológica.

El suelo no sólo actúa como un filtro físico, sino que también trabaja biológicamente produciendo una oxidación bioquímica sobre buena parte de las sustancias contenidas en suspensión de las aguas residuales, de manera que sean asimilables por la vegetación y las que no lo sean pasen al acuífero de forma y proporción que no supongan peligro de deterioro para el mismo.

La depuración de las aguas residuales aplicadas al suelo tiene lugar en los horizontes superiores de éste, en una capa biológicamente activa cuya profundidad no puede rebasar 1,20 metros. En este suelo vivo las aguas que lo atraviesan lentamente al percolar, sufren dos procesos simultáneos:

- a) un filtrado mecánico que retiene los sólidos en suspensión no degradables
- b) una oxidación bioquímica bacteriana que mineraliza la materia orgánica.

El oxígeno necesario para esta mineralización de la materia orgánica proviene del aire contenido en esta capa activa del suelo en la que ocupa del orden del 50% de su volumen lo que equivale a un contenido de unos 600 Kg de oxígeno por Ha, que se renueva naturalmente por difusión cada 75 minutos.

La oxidación de la materia orgánica es producida por bacterias anaerobias que se hallan en el suelo formando una tenue película que envuelve las partículas de éste, que son capaces de entrar en acción a partir de 0°C de temperatura en presencia de agua y de materia orgánica adherida a la película que forman. En suelos de textura no gruesa la superficie de esta película está evaluada en cifras del orden de 5.000 m<sup>2</sup> por metro cuadrado de superficie de terreno.

La descomposición bacteriana de la materia orgánica da lugar a que el nitrógeno pase de formas amoniacales a nitritos y nitratos. Este efecto se hace patente en la vegetación espontánea de los campos de aplicación que se compone casi exclusivamente de plantas nitrófilas y en la ausencia de las leguminosas capaces de fijar el nitrógeno atmosférico en los módulos de sus raíces.

El fósforo se oxida y genera con las bases, fosfatos que por una parte se inmovilizan y son retenidos por la vegetación y por otra parte percolan. Este fósforo en presencia de cal queda inmovilizado, y es preciso abonar los cultivos con fósforo a partir de la aportación del contenido en las aguas residuales.

La flora intestinal que transportan las aguas residuales domésticas encuentra en el suelo condiciones hostiles de variaciones de temperatura y abundancia de oxígeno que le son nocivas; sus relaciones con la población bacteriana del suelo no son bien conocidas, pero los análisis de las aguas de percolación por debajo de suelo activo muestran, que a efectos sanitarios la depuración natural producida por éste pueden ser similares a los logrados por un tratamiento secundario convencional.

Con las altas temperaturas se intensifica la actividad vegetativa y bacteriana. La temperatura de las aguas residuales, más elevada de la del terreno en invierno, debe producir un alargamiento de la actividad vegetativa. Todo ello contribuye a incrementar la extracción de nutrientes aportados por las aguas residuales.

Los estudios ya realizados sobre la composición de las aguas residuales urbanas dan como resultado su posible utilización para el riego de choperas, una vez eliminados los sólidos más gruesos y algunas sustancias fácilmente separables.

### **Biodiscos**

La aplicación de la depuración mediante biodiscos respecto a las tecnologías tradicionales, basadas en procesos de autodepuración natural, consigue la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales con unos costes de operación inferior y con unas necesidades de mantenimiento menores a los de la depuración tradicional.

Los biodiscos son un proceso biológico de tratamiento de aguas residuales que se caracteriza por presentar más del 95% de la biomasa activa en forma fija a un soporte.

El medio soporte o biodisco está constituido por un conjunto de placas de material plástico de diseño especial, ensambladas en un eje horizontal, formando un conjunto cilíndrico, girando lentamente sobre dicho eje, y permaneciendo un 40% de su superficie sumergida en el agua a tratar.

La película de microorganismos fijado en el material plástico alcanza concentraciones de hasta 50.000 mg/l de sólidos en suspensión, que equivale a un reactor biológico con biomasa en suspensión del orden de 15.000 mg/l. Esta elevada concentración de microorganismos permite alcanzar altas eficacias de tratamiento con tiempos de retención mínimos.

Mediante el movimiento giratorio del biodisco, la película de microorganismos alterna su contacto con el agua residual a tratar y con el oxígeno del aire. Cuando la película está en contacto con el aire absorbe oxígeno del mismo, mientras que cuando está sumergida absorbe el contenido en materia soluble a degradar.

El rozamiento de la biomasa fijada en el biodisco cuando éste se desplaza en el agua residual favorece el desprendimiento del exceso de biomasa formada, mantiene su espesor constante y evita el taponamiento del biodisco.

Así mismo, la mezcla ocasionada en el agua residual por el movimiento giratorio del biodisco, mantiene la biomasa desprendida en suspensión.

Es un proceso biológico aerobio que se puede emplear para:

- Eliminación de DBO5.
- Nitrificación biológica del nitrógeno amoniacal.
- Desnitrificación biológica del nitrógeno nítrico en ambiente carente de oxígeno (biodiscos sumergidos).

Los biodiscos se instalan en tanques de hormigón o metálicos en los que se dispone de un nivel constante de agua y en los cuales giran con lentitud.

Debido a la rotación, los discos, entran y salen del agua llevando consigo parte del agua misma y formando en la superficie de los discos una película biológica o biofilm, que aparece de forma natural al crearse las condiciones óptimas para su desarrollo. Esto es, la presencia de comida y abundante oxígeno.

El crecimiento biológico en las superficies va aumentando hasta que, debido al crecimiento de microorganismos y a la rotación de los discos, se efectúa el desprendimiento de la biomasa pasando a estar en suspensión en el agua, en forma de fango biológico. Una vez que la capa se ha desprendido, empieza el crecimiento de una nueva capa y así sucesivamente.

De esta manera, se consigue la captura de sustancias orgánicas solubles y su transformación en materia sólida que puede ser separable por procedimientos físicos, tales como la decantación o el microtamizado.

## 5.8. Lodos activos

El proceso de lodos o fangos activos fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett y llamado así porque suponía la producción de una masa activa de microorganismos capaz de estabilizar la materia orgánica biodegradable de un agua residual por vía aerobia. En la actualidad se utilizan diferentes versiones del proceso original, pero todas tienen el mismo fundamento.

Dentro de los diferentes procesos biológicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales, el de lodos activos es el generalmente utilizado en todas las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas, así como en aquellas industriales con contaminación por materia orgánica biodegradable.

El objetivo fundamental del proceso de fangos o lodos activos es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual.

El vertido de un agua residual con materia orgánica biodegradable, supone que la reacción bioquímica va a tener lugar en el cauce receptor, lo que va a suponer el consumo del oxígeno disponible, afectando de forma importante al ecosistema.

De acuerdo con lo anteriormente indicado, las funciones más importantes asignadas a este proceso, al igual que al resto de los procesos biológicos son:

- Eliminación de la materia orgánica biodegradable.
- En determinados procesos específicos, la eliminación de compuestos de nitrógeno y fósforo vía bioquímica.
- Cumplir la normativa legal referente a la concentración de DBO.
- Evitar la disminución de la cantidad de oxígeno en el cauce, por el gran impacto que se genera sobre la fauna y flora en el mismo. En aquellos procesos que eliminan compuestos de nitrógeno y fósforo, evitan la eutrofización del cauce receptor.

En el proceso de fangos activos se lleva a cabo la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, de igual forma que tiene lugar en la naturaleza, a través de una biomasa o conjunto de microorganismos que la utilizan como sustrato o fuente de alimentación, descomponiéndola vía aerobia.

La reacción bioquímica que tiene lugar es la siguiente:

MO + Microorganismos + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + ..... + Nuevos Microorganismos.

A diferencia de lo que ocurre en la naturaleza, la población de biomasa que se utiliza en este proceso es elevada, lo que conlleva que en unos tiempos reducidos, tenga lugar la eliminación de cantidades importantes de DBO.

Las unidades básicas de que se compone el proceso de lodos activos son:

- Reactor o balsa biológica
- Decantador secundario.
- Recirculación del lodo activo

El proceso de lodos activos que tiene lugar es el siguiente:

- El agua residual que llega al sistema es introducida de forma continua en el reactor donde se mantiene una concentración elevada de microorganismos en suspensión.

En esta etapa los microorganismos capturan la materia orgánica biodegradable presente, utilizándola como sustrato o alimentación, provocando su eliminación a través de reacciones bioquímicas de oxidación y síntesis.

El oxígeno preciso para los microorganismos se introduce mediante el empleo de difusores, aireadores mecánicos u otros sistemas que aportan el aire para el proceso (el 23% en peso del aire es oxígeno), al mismo tiempo que provocan la agitación suficiente para mantener la biomasa en suspensión y en mezcla íntima con el agua a tratar.

- El agua que llega al reactor provoca el desplazamiento de la mezcla aguabiomasa a un decantador instalado a continuación. En el decantador, los microorganismos se aglomeran sobre pequeñas partículas en suspensión, generando unos flóculos de varios milímetros fácilmente decantables, que sedimentan en el fondo del equipo. Este fango decantado está compuesto fundamentalmente por microorganismos, que han escapado del reactor biológico.

Para mantener la concentración en el reactor, estos lodos decantados son recirculados de nuevo al reactor y así mantener la población necesaria.

- En el proceso de síntesis que tiene lugar en el reactor, se están formando continuamente nuevos microorganismos, que es preciso purgar y extraer del sistema para trabajar con una población de microorganismos fija.

El agua que sale por el vertedero del decantador, ya se encuentra tratada y es adecuada para su vertido, en el caso de que no disponga de algún otro tipo de contaminación.

## 5.9. Filtros percoladores

El sistema de tratamiento biológico mediante filtros percoladores, de desarrollo anterior al de lodos activos, se basa en el proceso que tiene lugar en la naturaleza, consistente en el crecimiento de microorganismos sobre la superficie de rocas presentes en las orillas de los cauces, que llevan a cabo procesos de autodepuración de las aguas.

A este proceso también se le conoce con los nombres de filtros biológicos o lechos bacterianos.

El primer equipo de este tipo se instaló en 1893, siendo en la planta de Reading (EEUU), donde se utilizaron por primera vez en aguas residuales urbanas.

Este es un proceso de tipo biológico aerobio.

La base fundamental de los filtros percoladores consiste en, disponer de una superficie elevada, de tal forma que la masa de microorganismos que se desarrolle sobre la misma sea muy importante, y en consecuencia disponer de una alta capacidad de eliminación de materia orgánica biodegradable.

Un filtro percolador, básicamente se compone de un tanque o recipiente en el cual se encuentra el relleno apropiado y sobre el que se riega con el agua residual, formándose una fina lámina de agua al caer a través del mismo. Sobre la superficie del relleno, se desarrolla una película de biomasa, que captura la materia orgánica disuelta en el agua a su paso. El oxígeno preciso para el proceso es captado por la biomasa del existente en los huecos que quedan entre el relleno.

Un factor muy importante a tener en cuenta en este proceso es el bajo consumo energético, frente a los fangos activos en cualquiera de sus variantes, ya que el paso de aire a través del filtro, es un movimiento de convección, basado en la diferencia de temperatura entre el aire atmosférico y el agua residual.

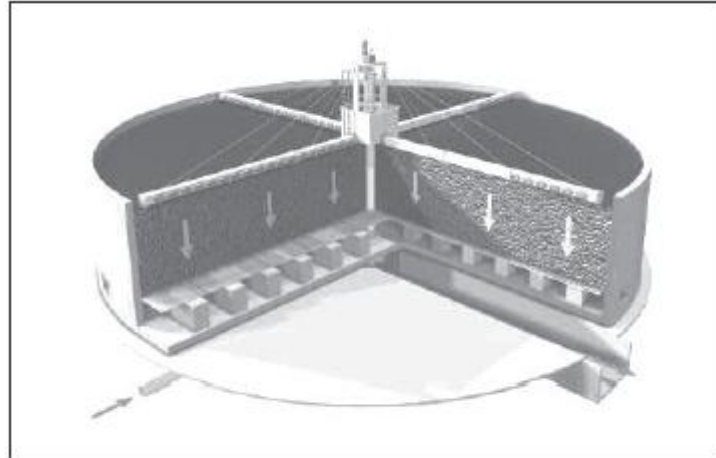
En la actualidad y sobre todo con rellenos de material plástico, y de elevados volúmenes se suele utilizar circulación forzada de aire, mediante la instalación de soplantes.

El objetivo fundamental de este proceso al igual que del resto de los procesos biológicos, es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en un agua residual, ya sea de tipo urbana o industrial, a través de un proceso de biodegradación de tipo aerobio.

Como ya se ha indicado en otros temas, la no eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en un agua residual, va a tener como consecuencia un consumo del oxígeno disuelto en el receptor, pudiendo llegar a la desaparición de este elemento y en consecuencia, cualquier forma de vida.

La misión fundamental es la protección de los cauces receptores, mediante la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual.





SECCIÓN DE UN FILTRO BIOLÓGICO.

## 5.10. Procesos anaerobios

Los efluentes de determinadas plantas industriales, como pueden ser alcoholeras, azucareras, granjas intensivas de cerdos, cerveceras, etc. generan unas aguas residuales con unas cargas muy elevadas de DBO.

La utilización de procesos aerobios como el de fangos activos, descrito en otro capítulo para la eliminación de la DBO de estas aguas, conllevarían unos consumos energéticos muy elevados y en consecuencia unos gastos de explotación de la instalación muy importantes.

Igualmente en las plantas depuradoras los fangos generados en la decantación secundaria y muchas veces en la primaria (si los sólidos presentes están compuestos de materia orgánica), tienen en su composición unas cargas contaminantes en materia orgánica muy elevadas que hay que estabilizar (eliminar la materia orgánica) previamente a su deshidratación y evacuación de las instalaciones de depuración.

En estos tipos de aguas residuales y en el tratamiento de fangos para la eliminación de la materia orgánica biodegradable, los procesos biológicos utilizados generalmente son por vía anaerobia, es decir en ausencia de oxígeno.

Un problema que surge en los procesos de tipo anaerobio es su baja velocidad.

Como ya se ha indicado en otro capítulo, la velocidad de los procesos biológicos es función de la temperatura, de tal forma que dentro de un rango (hasta 40 °C), el incremento de este parámetro conlleva una mayor velocidad, (por cada 10 °C que se incremente la temperatura, la velocidad de reacción aproximadamente se duplica), o lo que es lo mismo menores tiempos de retención y en consecuencia equipos mucho más pequeños.

Como en la digestión anaerobia se genera biogás, con un poder calorífico elevado, este es utilizado como combustible para generar el calor preciso para aumentar la temperatura del agua residual, lo que conlleva un ahorro energético muy importante y, en consecuencia, la viabilidad de este proceso.

En el caso de los lodos de depuradoras o bien de aguas residuales con sólidos en suspensión de naturaleza orgánica, al llevar a cabo el proceso anaerobio, hay una reducción importante de los sólidos en suspensión.

Como el éxito del proceso radica en la autosuficiencia energética para el calentamiento del agua a tratar, este sistema solamente puede ser utilizado en aquellos casos que el agua disponga de un contenido en materia orgánica elevada, de tal forma que las cantidades de gas obtenido sean suficientes para obtener la energía térmica del proceso.

En algunas aguas residuales industriales muy cargadas en materia orgánica, el proceso anaerobio incluso puede exportar biogás a otras dependencias de la fábrica.

El objetivo fundamental de los procesos biológicos anaerobios, es la eliminación de la materia orgánica biodegradable, en todos aquellos casos en que esta se encuentre en elevadas concentraciones, y en consecuencia no sean de aplicación los procesos aerobios, por el alto consumo energético que estos últimos producirían.

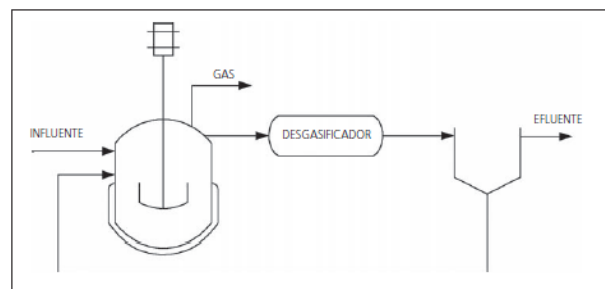
Los fines más importantes a conseguir mediante los procesos anaerobios, son entre otros:

- Evitar el gravísimo impacto que sobre el cauce receptor tendría el vertido de unas aguas residuales con unas elevadas cargas de materia orgánica biodegradable, aunque se tratase de caudales bajos.
- Debido a tratar aguas residuales con una elevada carga orgánica, ser utilizado como una primera etapa de depuración, seguida de un posterior proceso aerobio de afine.

- Estabilización de los fangos generados en las plantas depuradoras, de tal forma que se mineralicen parcialmente y puedan ser evacuados de la instalación sin problemas de fermentaciones posteriores.
- Reducir el contenido de sólidos en suspensión (aquellos de naturaleza orgánica y biodegradable), presentes en el agua residual o fangos a tratar.
- Obtención de energía para la calefacción del proceso con el ahorro económico que conlleva.

En algunas plantas de tratamiento de aguas residuales muy cargadas, es posible la exportación de ciertas cantidades de gas al exterior de la depuradora, como ya se ha indicado.

- En la digestión anaerobia de fangos en las plantas depuradoras urbanas, tiene lugar una importante reducción de gérmenes patógenos.



## 5.11. Coagulación-floculación

El proceso de decantación, consiste básicamente en la separación de los sólidos en suspensión presentes en el agua residual, basándose en la propiedad física de la diferencia de densidad entre las partículas a separar y el agua.

En las aguas residuales pueden existir una serie de partículas que por distintos motivos no es factible separarlas por decantación, debido a su pequeño tamaño, baja densidad o encontrarse cargadas eléctricamente formando coloides.

Igualmente en el proceso de flotación no es posible, además de los coloides, la separación de aquellas partículas de grasas o aceites que se encuentren en emulsión.

Con frecuencia los procesos de coagulación y floculación se confunden, utilizándose uno u otro término de forma indiscriminada, no obstante existe una clara diferencia entre ellos.

El proceso de coagulación es la reacción química que tiene lugar por la adición de determinados productos químicos a una dispersión coloidal, produciendo una desestabilización de las partículas coloidales o emulsionadas, mediante la neutralización de las cargas eléctricas que tienden a mantenerlas separadas.

La formación de partículas fácilmente sedimentables a partir de las partículas desestabilizadas de tamaño submicroscópico por agrupamiento entre ellas y formación de otras de mayor tamaño es lo que se denomina floculación.

Mientras que la coagulación es una reacción de tipo químico, siendo la fuerza primaria de tipo electrostático o interiónico, en el proceso de floculación predominan la formación de puentes o enlaces de tipo físico.

La utilización de un proceso de coagulación-floculación antes de la decantación primaria en una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas da como resultado una mejora importante en el rendimiento del mencionado proceso, pudiéndose llegar hasta una eliminación próxima a un 90% de los sólidos en suspensión y de un 70 - 75% de DBO, frente a un 60 - 65% y 30 - 35% respectivamente en un proceso convencional.

A pesar de esta mejora en los resultados, no se utiliza debido a la problemática de preparación de reactivos, coste de los mismos y una mayor generación de lodos.

El objetivo de los procesos de coagulación - floculación es la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides y emulsiones presentes en el agua residual, seguido de un reagrupamiento de las partículas, de tal forma que sea factible su separación posterior ya sea por decantación o bien por flotación.

Es de indicar que en el proceso de coagulación - floculación, no tiene lugar separación alguna de contaminantes, sino una adecuación de determinadas partículas para que puedan ser separadas fácilmente a través de otros procesos instalados a continuación, como decantación o de flotación.

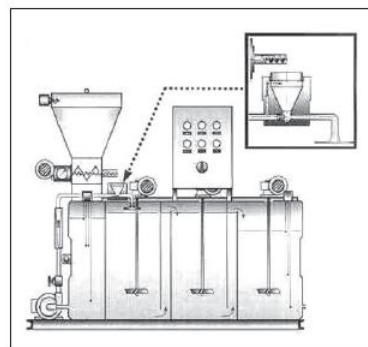
Las funciones más importantes del proceso de coagulación - floculación, son las siguientes:

- Neutralizar las cargas eléctricas presentes en partículas coloidales o emulsiones, eliminando las fuerzas de repulsión existentes al ser cargas del mismo signo y que impedían su decantación o flotación.

- Reagrupación de partículas de tamaño muy pequeño en otras de mayor tamaño más fácilmente decantables.

Las partículas de tamaño muy pequeño no decantan con facilidad, debido a las fuerzas de resistencia que se originan al atravesar las partículas el agua en su caída y la poca masa de que disponen, lo que llevaría a utilizar unas velocidades o cargas hidráulicas muy bajas, y en consecuencia unos equipos muy grandes.

- Algunos compuestos orgánicos se eliminan en cantidades variables por adsorción sobre la superficie de los flóculos.
- Adecuar determinadas partículas para que sean eliminadas en procesos posteriores de decantación o flotación.



UNIDAD DE PREPARACIÓN DE POLIELECTROLITO.

## 5.12. Neutralización

Un gran número de aguas residuales industriales contienen en su composición compuestos ácidos o alcalinos que deben ser neutralizados o ajustado su valor de pH antes de su vertido al cauce receptor o bien antes de cualquier tratamiento biológico posterior.

En el primer caso, el ajuste del pH tendrá que estar comprendido entre los límites marcados por la legislación aplicable al vertido, mientras que en el segundo el sistema habrá de ser ajustado a unos valores de pH comprendidos entre 7,0 y 8,0 con el fin de asegurar una actividad biológica en óptimas condiciones.

Por tratarse la neutralización de una reacción química, el proceso tiene lugar de forma muy rápida, precisándose unos tiempos de retención mínimos, ahora y siempre que se disponga de una agitación

enérgica que permita que el reactivo y el agua residual entren en contacto en el menor tiempo posible.

En el caso de aguas residuales urbanas, por tener estas un pH comprendido entre 7,5 y 7,6, no es preciso su ajuste, siendo el mencionado valor óptimo para el desarrollo de los procesos de tipo biológico a que serán sometidas.

El objetivo del proceso de neutralización, es ajustar el valor de pH del agua residual, de tal forma que esta pueda ser vertida a colector o cauce publico dentro del rango exigido por la normativa legal aplicable, o bien su adecuación a tratamientos posteriores, fundamentalmente los procesos biológicos.

Entre las funciones más importantes asignadas al proceso de neutralización, se encuentran:

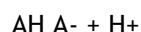
- Ajustar los valores del pH del agua residual a los autorizados en el vertido.
- Ajustar los valores de pH a los precisos para tratamientos posteriores.

En el caso de los procesos biológicos, el rango de pH debe encontrarse entre 7,0 y 8,0.

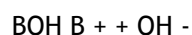
- Evitar ataques químicos, fundamentalmente de las aguas ácidas a las estructuras metálicas, equipos, obra civil, etc. que componen la depuradora.
- Ajustar los valores de pH a los idóneos de otros procesos químicos, como coagulación, precipitación, redox, etc.

Los procesos de neutralización, son reacciones químicas en las cuales un agua ácida reacciona con un reactivo alcalino o bien un agua alcalina reacciona con un reactivo ácido, dando como resultado la sal correspondiente y agua, de tal forma que el pH final del agua residual este dentro del rango previsto.

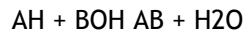
Los compuestos ácidos se caracterizan porque en disolución liberan protones



y los alcalinos por generar grupos hidroxilo



de tal forma que en una reacción de neutralización ocurre:



Un concepto fundamental en estos procesos es el de pH, que representa el logaritmo de la concentración (moles/litro) de protones cambiada de signo.

$$pH = -\log[H^+]$$

igualmente es importante el pOH, siendo en este caso el logaritmo de la concentración (moles/litro) de grupos hidroxilo cambiado de signo.

$$pOH = -\log[OH^-]$$

debido a que la constante de ionización del agua es:  $[H^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$

resultará que:  $pH + pOH = 14$

de tal forma que un agua es neutra cuando:  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$

o lo que es lo mismo:  $pH = pOH = 7$

Si un agua es ácida, significa que tiene un exceso de protones y será preciso la dosificación de una base para su neutralización. En el caso de aguas alcalinas lo que existe es un exceso de grupos hidroxilo, necesitando en este caso la dosificación de un ácido.

### 5.13. Precipitación

En este tipo de proceso se va a dosificar un reactivo químico determinado al agua residual de tal forma que como consecuencia de la reacción química se produzcan compuestos o sales insolubles del contaminante que se pretende eliminar, y puedan ser separados posteriormente del agua por decantación.

Una de las aplicaciones más importantes de los procesos de precipitación en el tratamiento de aguas industriales, es la eliminación de metales pesados, como pueden ser cromo trivalente, plomo, cadmio, cobre, etc., debido a la gran toxicidad que presentan por los procesos de bioacumulación

que tienen lugar a lo largo de la cadena alimenticia y a los gravísimos trastornos que pueden producir a la salud humana.

Este tipo de procesos, son prácticamente exclusivos de aplicación en algunas aguas industriales.

En estos procesos es aconsejable la utilización de una balsa de homogeneización y regulación del influente, con el fin de laminar tanto el caudal como la composición y conseguir que el proceso de precipitación funcione correctamente. Igualmente es imprescindible la segregación de las aguas contaminadas por estos compuestos del resto de corrientes.

Su aplicación en aguas residuales urbanas se limita a la eliminación de fosfatos en las plantas que viertan a zonas sensibles y requieran la eliminación de dicho contaminante.

El objetivo del proceso de precipitación, es la eliminación del agua residual de un contaminante o grupo de contaminantes que se encuentren disueltos en el agua, mediante la dosificación de un reactivo químico, que produzca un compuesto insoluble, fácilmente separable posteriormente por decantación.

Entre las funciones de las reacciones de precipitación en el tratamiento de aguas residuales, se encuentran:

- Eliminar de las aguas residuales determinados iones que se encuentran disueltos en el agua residual.
- Adaptar la calidad del agua residual a la normativa legal en el vertido.
- Eliminación de determinados iones presentes en el agua residual y que podrían conllevar toxicidad o inhibición de los procesos biológicos posteriores.

Las reacciones de precipitación, se basan en la dosificación al agua residual a tratar de un determinado compuesto químico, de tal forma que reaccione con determinados iones presentes en la misma, formándose un nuevo compuesto que sea insoluble en el agua y en consecuencia se genere un precipitado o sólido en suspensión, eliminable posteriormente por decantación.

## 5.14. Reacciones de oxidación-reducción



Las reacciones químicas de oxidación-reducción se caracterizan por una transferencia de electrones entre el oxidante y el reductor. Este mecanismo de la reacción conlleva que el proceso tenga lugar entre dos compuestos perfectamente definidos, y no entre familias o grupos de compuestos.

En los tratamientos de aguas residuales, este tipo de procesos se ve limitado casi en exclusiva a la eliminación de cromo hexavalente, cianuros y materia orgánica refractaria.

La presencia de cromo hexavalente es típica de aguas procedentes de la industria de tratamiento de superficies.

La presencia de cianuros en aguas residuales tiene lugar en algunas industrias de tratamiento de superficies, en el lavado de gases de algunos hornos de fundición, etc.

La materia orgánica no biodegradable, entre la que se encuentra aquella que presenta efectos tóxicos e inhibidores, no es eliminada en los procesos biológicos, siendo su oxidación química una vía adecuada para su destrucción, sobre todo cuando se encuentra en altas concentraciones.

Debido a los procesos oxidación-reducción utilizados y a la complejidad del sistema, es totalmente imprescindible la segregación de las corrientes contaminadas y su tratamiento de forma independiente del resto de las aguas residuales que pudiesen producirse en la industria.

Por otra parte, la mayoría de las industrias generadoras de estos contaminantes deben de minimizar el consumo de agua y maximizar la recuperación y reciclado de la misma, mediante controles de las cantidades de agua utilizados.

Con el fin de que la instalación trabaje con la mayor efectividad posible, es norma habitual en estas plantas de tratamiento el llevar a cabo una homogeneización y regulación del caudal como fase previa al tratamiento.

El objetivo de los tratamientos basados en reacciones químicas tipo redox, es la eliminación de determinados contaminantes de las aguas residuales.

Dentro de los posibles contaminantes a eliminar, se encuentran cromo hexavalente, cianuro y materia orgánica refractaria a los tratamientos biológicos.

Entre los fines más importantes de este proceso, se encuentran:

- Eliminación de la gran toxicidad de los contaminantes (cianuros, cromo hexavalente, pesticidas, compuestos fenólicos, etc.) objeto de estos tratamientos.
- Eliminar su vertido a los colectores municipales ya que crearía importantes problemas en los tratamientos biológicos de las depuradoras urbanas.

De no eliminarse el cromo hexavalente previamente a las depuradoras urbanas, este contaminante llegará en parte con el agua residual al cauce receptor al no ser eliminado en las mismas. Otra parte será fijado por los fangos generados en los procesos biológicos, inhabilitándolos para su uso posterior en agricultura, pudiendo llegar a ser clasificados como peligrosos.

- Eliminación de la materia orgánica refractaria o tóxica a los procesos biológicos.

### 5.15. Tratamiento de fangos

A lo largo de algunos de los procesos de depuración estudiados con anterioridad, se van a producir unos lodos o fangos con unas concentraciones de sólidos en suspensión muy diluidas, que hay que concentrar y tratar antes de su evacuación de la planta de tratamiento de aguas residuales, dando lugar a una línea de tratamiento específica, que por su complejidad y coste tanto de primera instalación como explotación y mantenimiento van a tener una gran importancia en la depuradora. Dentro de los procesos generadores de fangos, en las plantas depuradoras de aguas residuales, se encuentran entre otros

- *Decantación:*

La concentración de estos lodos va a depender del tipo de sólidos, de las características del equipo utilizado, así como de la velocidad de decantación y tiempo de retención utilizados en el diseño.

En plantas de tratamiento urbanas, la concentración de estos fangos primarios varía generalmente entre un 1,5 y un 3,0%, estando constituidos en una parte importante de su composición por materia orgánica biodegradable y en consecuencia van a presentar unos valores de DBO elevados.

- *Decantación posterior al proceso de coagulación-floculación:*

En este caso, la cantidad de fangos a eliminar será mayor que en el caso de la simple decantación, puesto que se van a eliminar además de los sólidos en suspensión presentes en el agua residual, los

hidróxidos de los reactivos utilizados como coagulantes. Cabe indicar, que al obtener mejores rendimientos en la decantación, los sólidos en suspensión eliminados son superiores.

- *Procesos biológicos:*

En este tipo de procesos se generan unos fangos compuestos en su mayor parte por la biomasa formada en los mismos. Dependiendo del tipo de proceso utilizado, así será la cantidad de fangos formados que es preciso eliminar del sistema.

La concentración de estos fangos es muy baja, pues varía desde un 0,8% en un proceso de lodos activos convencional hasta un 0,5-0,6% para oxidación total. Una característica fundamental de estos fangos es que se trata en su mayoría de materia orgánica fácilmente biodegradable, y en consecuencia presenta unos valores de DBO muy elevados.

- *Separadores de grasas y aceites:*

En estos equipos además de separar grasas y aceites por superficie, se genera una decantación de lodos por el fondo que hay que purgar y tratar adecuadamente. Una característica de estos fangos es que en su composición se pueden encontrar arenas, sólidos inorgánicos y orgánicos, así como hidrocarburos impregnando a los mencionados sólidos.

- *Procesos de flotación:*

Estos fangos son separados por superficie en forma de espumas y generalmente vienen acompañados de cantidades variables de grasas y aceites, así como de los reactivos o sus derivados utilizados en la coagulación previa generalmente utilizada. La concentración de estos fangos esta comprendida entre un 3 y 3,5%.

- *Lodos generados en reacciones químicas de precipitación:*

Determinados iones presentes en el agua residual, reaccionan con determinado reactivo, generando una sal insoluble, que es separada posteriormente por decantación, lo que da lugar a la aparición de lodos o fangos. La composición de estos fangos va a ser de compuestos inorgánicos, que son objeto de la precipitación, a excepción de que el agua residual traiga sólidos en suspensión de tipo orgánico y se decanten conjuntamente.

El objetivo fundamental de los procesos de tratamiento de fangos, es la obtención de un sólido final estable, con un grado de deshidratación adecuado, para que sea fácilmente evacuable de la planta depuradora mediante camión u otro medio de transporte a destino final, a partir de los lodos generados en diversos procesos de la instalación de depuración.

Básicamente, los objetivos que tienen asignados los diferentes procesos de tratamiento de fangos, son los siguientes:

- Concentrar los fangos diluidos obtenidos en diferentes procesos de la planta depuradora, de tal forma que los tratamientos posteriores de fangos, resulten de menor tamaño, al disponer de menor volumen.
- Destruir o estabilizar la materia orgánica biodegradable presente en los fangos espesados, con el fin de conseguir su estabilidad.
- Deshidratar los fangos estabilizados, de tal forma que se obtenga un sólido, fácilmente transportable en la caja de un camión a destino final.

Para llevar a cabo los diferentes objetivos indicados anteriormente, los procesos utilizados habitualmente, son los siguientes:

#### ESPESADO

- Los lodos o fangos purgados en los diferentes procesos de la planta depuradora, presentan unas concentraciones muy bajas en sólidos en suspensión, siendo preciso aumentar dicha concentración con el fin de que los equipos de los sucesivos tratamientos de fangos resulten de un menor tamaño.

#### ESTABILIZACIÓN DEL FANGO.

- En la composición del fango, una parte importante del mismo puede ser materia orgánica biodegradable, como ocurre con todos los procedentes de los procesos biológicos o bien cuando los sólidos decantados son materia orgánica y en consecuencia no son estables, siendo imprescindible su estabilización antes de su evacuación de la planta depuradora.

Se entiende por estabilización la destrucción de la materia orgánica biodegradable presente en los fangos.

Los procesos utilizados en el espesamiento de fangos son normalmente dos:

- Espesado por gravedad.

Los equipos son muy parecidos a los decantadores, variando los parámetros de diseño.

- Espesado por flotación.

Se utilizan unos equipos similares a los sistemas de flotación utilizados en la eliminación de sólidos en suspensión.

- Otros.

Dentro de los sistemas de estabilización utilizados, se encuentran los siguientes:

- Estabilización química.

En este caso la estabilización del fango se consigue mediante la dosificación de determinados reactivos químicos, fundamentalmente cal.

En este caso no tiene lugar una eliminación de la materia orgánica, sino el crear unas condiciones en el fango que no permitan el desarrollo de microorganismos capaces de descomponer la materia orgánica.

- Estabilización biológica.

El mecanismo de destrucción de la materia orgánica en este caso es mediante microorganismos, al igual que en los procesos biológicos utilizados en el tratamiento del agua residual.

Los dos sistemas utilizados son por *vía aerobia* o bien por *vía anaerobia*.

En el caso de estabilización biológica de los fangos, se suele denominar digestión.

#### DESHIDRATACIÓN.

- El fango espesado y estabilizado tiene una concentración todavía muy baja, encontrándose en forma líquida y con un volumen importante.

Con el fin de poderlo evacuar de la depuradora y enviarlo a destino final, el último tratamiento a que se le somete es a un proceso de deshidratación.

Dentro de los procesos de deshidratación utilizados se encuentran:

- Centrifugación.
- Filtración.

Como sistemas de filtración se utilizan eras de secado, filtros a presión y de bandas.

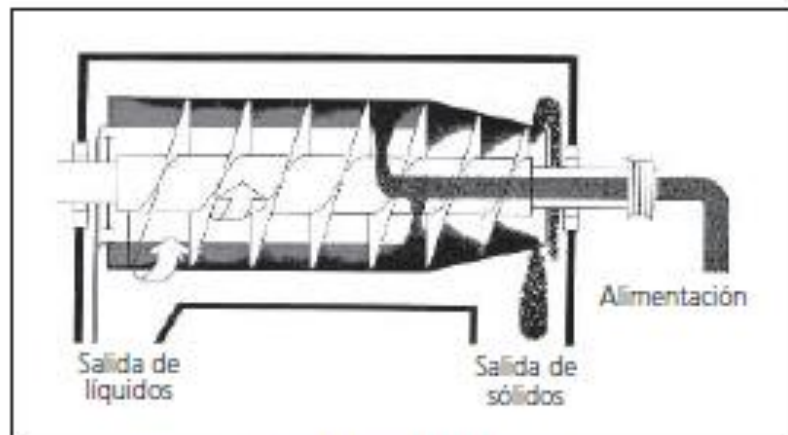
Con los procesos de deshidratación, se obtiene un sólido, con unos grados de sequedad variables entre el 20 y el 50%, dependiendo del tipo de proceso utilizado y del tipo de fangos tratados. Esto hace que sean fácilmente evacuables de la planta depuradora a destino final, puesto que se trata de un producto en estado sólido.

La línea de tratamiento de fangos de una depuradora va a depender entre otros de los siguientes factores:

- Origen y composición de los lodos.
- Destino final de los lodos deshidratados.
- Tamaño de la depuradora.
- Cantidad de fangos generados.
- Espacio disponible para ubicación de esta línea de tratamiento.
- Disponibilidades económicas.



ESPEADOR POR GRAVEDAD.



ESQUEMA CENTRÍFUGA.

## BIBLIOGRAFÍA

- Manual Técnico del Agua, Editorial Degremont
- Ingeniería sanitaria tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Metcalf-Eddy. Editorial Labor 3ª edición 1994. Manual de depuración de Uralita. Aurelio Hernández Muñoz y otros. 3ª edición 2004. Editorial Thomson/Paraninfo.
- Depuradoras “bases científicas”. José Catalán Lafuente. Editorial Belisco 1997
- Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales. Juan Antonio Sainz Sastre. 2005.
- Depuración de aguas residuales. José A. Lázaro-Carrasco. MOPT 1991
- Depuración por lagunaje de aguas residuales. Manual de operadores. MOPT 1991
- Tratamientos biológicos de aguas residuales. José Ferrer Polo - Aurora Seco Torrecillas. Editorial UPV.
- Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. MMAMRM 2010
- Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. 2006
- Apuntes XXV curso Tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. CEDEX 2007.
- Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales. Aurelio Hernández Lehmann. COICCP 2ª edición 2002.
- Depuración de aguas residuales: modelización de procesos de lodos activados. Manual Gil Rodríguez. CSIC 2006.