

# MÓDULO DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

TEMA:

**GESTION DE EXPLOTACION DE UN SISTEMA DE  
DEPURACIÓN**

**DOCUMENTACIÓN ELABORADA POR:**  
D.FERNANDO MORCILLO BERNALDO DE QUIRÓS

***GESTIÓN DE EXPLOTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
DEPURACIÓN***

***ORGANIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN Y  
MANTENIMIENTO***

***ANÁLISIS DE COSTOS***

***CONTROL DE VERTIDOS INDUSTRIALES***

***DISPOSICIÓN FINAL DE FANGOS***

**Autor: FERNANDO MORCILLO BERNALDO DE QUIRÓS**  
**Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos**  
**Diplomado en Ingeniería Ambiental**

# ÍNDICE

- 1.- **Sistema de Explotación en el marco de un Plan Integral de Saneamiento.**
- 2.- **La gestión y el control de las fuentes emisoras de agua residual (vertidos especiales e industriales).**
  - 2.1.- Coordinación con la gestión de mantenimiento de alcantarillado.
  - 2.2.- Ordenanzas de vertido.
  - 2.3.- Configuración de un sistema de explotación.
  - 2.4.- Control de vertidos.
- 3.- **Configuración de un sistema de explotación.**
  - 3.1.- Ente gestor.
  - 3.2.- Organización.
  - 3.3.- Recursos Humanos.
    - \* Dotación.
    - \* Especialización.
    - \* Profesionalización (Cursos de formación, entrenamiento práctico, etc...).
    - \* Motivación.
  - 3.4.- Tecnología de procesos de depuración.
    - 3.4.1.- Operación de los procesos. Acciones.
    - 3.4.2.- Problemática real de los procesos.
    - 3.4.3.- Reducción de los impactos ambientales producidos.
    - 3.4.4.- Control de procesos. Control de rendimientos y calidades.
    - 3.4.5.- Modelos de simulación.
  - 3.5.- Técnicas de gestión industrial.

3.5.1.- Mantenimiento.

3.5.2.- Control de costes.

\* Ahorro energético.

\* Recuperación energética.

3.6.- Sistemas informáticos de captación, integración y gestión de datos.

3.7.- Seguridad y Salud laboral.

**4.- Análisis de Costos.**

\* Personal.

\* Energía.

\* Reactivos.

\* Repuestos y Fungibles.

\* Servicios exteriores.

\* Retirada y disposición de Fangos y Basuras.

\* Gastos generales.

\* Amortización.

**5.- Gestión de disposición de fangos.**

**6.- Resumen: aspectos y recomendaciones generales.**

**ANEJO A: PARÁMETROS A CONTROLAR EN UNA E.D.A.R.**

**ANEJO B: CONTROL MICROSCÓPICOS DE FANGOS ACTIVOS.**

**ANEJO C: MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DEL PROCESO DE FANGOS ACTIVOS.**

**ANEJO D: CONSUMO ENERGETICO DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVOS.**

**ANEJO E: GRAFICOS VARIOS**

## **1. EL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN EN EL MARCO DE UN PLAN INTEGRAL DE SANEAMIENTO**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

La continua y creciente contaminación de la mayoría de los recursos hidráulicos, bien sea en cauces superficiales especialmente agua abajo de las concentraciones urbanas e industriales, bien en aguas subterráneas contaminadas por filtración o bien aguas litorales transformadas en vertederos directos de todo desecho orgánico o inorgánico, son realidades que soporta nuestra sociedad.

La propia sociedad ha demandado la corrección de este estado de cosas, demanda que se plasmado a través de los responsables técnicos y políticos en la generación de Planes, denominados de “Saneamiento, Depuración, o más genéricamente de Política Hidráulica, en el sector de la Ingeniería Sanitaria”.

Un documento de síntesis y coordinación internacional, como lo fue la Carta del Agua aprobada por el Consejo de Europa en Mayo de 1968, ya establecía que “*la correcta gestión hidráulica debe ser objeto de un PLAN establecido por las autoridades competentes*”.

Ciertamente, cualquier tipo de planificación para que sea efectiva debe de venir estructurada a través de unos:

- μ PRINCIPIOS ILUSTRADORES
- μ ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN
- μ CONTROL DEL CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Dentro de la estrategia de actuación de un Plan de Depuración se pueden distinguir una serie de fases:

- μ Programación.
- μ Construcción de las infraestructuras necesarias.
- μ Explotación del sistema.

Una programación realista ha de contar con los mecanismos, apoyos y herramientas que permitan tanto su aplicación práctica como su viabilidad.

Estos mecanismos, para un plan de saneamiento o depuración son, al menos:

- Soporte y aceptación social.
- Financiación.
- Apoyo legislativo.
- Desarrollo tecnológico.

Esta introducción, aparentemente alejada del objeto de estas líneas, trata de reforzar una idea fundamental cual es el que la explotación y gestión, de un sistema de Depuración, debe ser tenida en cuenta desde el mismo inicio de la concepción de un Plan Integral de Depuración o Saneamiento, pues en caso contrario el esfuerzo será baldío, cuando no irresponsable.

Debe existir pues, una clara relación biunívoca entre el todo (Plan de Saneamiento) y una de sus partes (Explotación), en el sentido de que la estrategia del Plan de Explotación debe ilustrar y marcar la concepción del Plan General de Saneamiento, al mismo tiempo, aquel debe estar sometido a las mismas directrices que se establezcan en éste, para que la coordinación y la integración sean óptimas.

## 1.2. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN EN EL MARCO DE UN PLAN INTEGRAL DEL AGUA

La Gestión de un Plan, y por tanto también la de un Sistema de Explotación requiere:

a) *Un marco de actuación.*

Existe acuerdo unánime en que este marco esté limitado por los conceptos “unidad del ciclo hidrológico” y “cuenca hidrográfica”, que define un entorno geográfico concretado por los límites naturales de las aguas en donde es posible administrar, de forma integral, un bien patrimonial público cual es el agua.

b) *La existencia de un Ente gestor.*

El desarrollo de la política hidráulica debe estar encomendado, de acuerdo a fórmulas internacionalmente vigentes, a un sólo organismo que constituya la autoridad pública sobre el total de los recursos hidráulicos dentro del marco de actuación.(en España, cada una de las CONFEDERACIONES HIDROGRAFICAS)

Igualmente la gestión de explotación de un sistema de depuración debe ser de concepción integral, unificada en dirección, criterios y objetivos y realizada por un ente dotado de una estructura organizativa fácilmente adaptable a la evolución de las necesidades, con una fuerte agilidad operativa, autosuficiente económicamente, en resumen con un marcado acento y características “empresariales”.

c) *Concepción global del sistema.*

La aproximación al problema no realizada de forma global ha generado, en muchas actuaciones anteriores, como resultado, la falta de coordinación de medios e instrumentos puestos en juego para su solución, con un proliferación

de competencias, falta de claridad en la definición de objetivos y la ausencia de criterios para la implantación de responsabilidades económicas.

Por todo ello, se ha buscado la “gestión integral del agua” en donde en un sentido amplio y para un sistema de depuración o saneamiento se contempla el vertido, transporte (redes de colectores) y depuración de las aguas residuales, integrando estas actuaciones en la más genérica de calidad de los recursos hidráulicos (capacidad ecológica del sistema).

*d) Soporte económico-financiero.*

La base económica es fundamental para respaldar la realización de un plan, o el mantenimiento de la gestión de explotación de un sistema, y es preciso que se garantice de manera suficiente y continua.

Es preciso, no obstante, establecer un criterio para asignar las imputaciones económicas deducidas del uso del agua, diferenciando los usos “económicos” de los usos “sociales”.

En los primeros el principio de la ecología económica de “quien contamina paga” debe imperar, mientras que debe manifestarse un sentido de justicia social en los segundos usos (derecho de toda persona o asentamiento poblacional a disponer de servicios hidráulicos en condiciones satisfactorias).

Por otra parte el planteamiento económico, comúnmente aceptado, se debe basar en considerar que la financiación necesaria para mantener el patrimonio hidráulico provenga, en la medida de lo posible, de los recursos económicos generados por la utilización de dicho patrimonio y su recaudación por vía de la proporcionalidad del uso (en cantidad y calidad) del mismo.

Este soporte económico-financiero es uno de los defectos básicos con que se encontrado muchos sistemas de explotación, al haberse tenido en cuenta en el desarrollo del plan exclusivamente los problemas económicos de la construcción de las infraestructuras, obviándose la previsión de los costes asociados a su funcionamiento durante su vida útil. Costes , que por su importancia, en relación con el coste inicial de la infraestructura, no son , en modo alguno despreciables.

e) *Reglamentación y legislación.*

En un estado de derecho es preciso armonizar los derechos y deberes de la ciudadanía y de la sociedad, la lucha contra la contaminación del agua y protección medio ambiental requiere la reestructuración y racionalización del marco legal de manera que sea posible la aplicación de los conceptos epigrafiados salvaguardando las naturales derechos de terceros pero manteniendo el principio ilustrador de que un bien público y escaso, como lo es el agua, es patrimonio común, que como estableció la ya citada Carta Europea del Agua “ *cuyo valor debe ser reconocido pro todos. El deber de economizarla y de utilizarla cuidadosamente compete, asimismo, a cada uno de los miembros de la comunidad*”.

f) *Desarrollo Tecnológico.*

Tanto la puesta en práctica de un Plan de Saneamiento como la Explotación de un sistema requieren la aportación de la más evolucionada y contrastada tecnología, pero también los equipos humanos capaces de aplicarla, operarla y modificarla o desarrollarla. Por ello se debe tener muy en cuenta:

\* El estado de la tecnología, tanto electromecánica, como instrumentación-automatización, así como la de proceso de tratamiento. Sin despreciar en ningún caso las técnicas de la Ingeniería Civil.

\* Formación del personal necesario, y no sólo de los niveles de dirección y facultativos, si no también la correspondiente a los mandos intermedios y personal menos cualificado.

Pues así como en otros sectores, en los cuales se dispone de amplia experiencia industrial, existe un considerable volumen de empleado con cualificación necesaria para llevar a efecto la actividad, en el campo de la explotación de sistemas de saneamiento y particularmente en opera de

E.D.A.R. existe muy poco personal en el mercado de trabajo capaz, por conocimientos y experiencia laboral, de desarrollar un trabajo cualificado desde el primer día de trabajo.

g) *Innovación e investigación aplicada*

En el desarrollo de un sistema de explotación se requiere no olvidarse de promover el interés por el conocimiento de la técnica o más genéricamente de la ciencia aplicada a la actividad.

Ciertamente, es necesario imbricar el Sistema de Explotación con el sector industrial de Ingeniería y Tecnología, bienes de equipo, etc..., para promover la innovación, así como con los centros de investigación aplicada para complementar (en ambos sentidos) el desarrollo y la optimización de las infraestructuras, su uso y operación.

Este análisis en paralelo de las necesidades de un Plan Integral de Saneamiento y de un Sistema de Explotación, nos ilustra en cierta manera la necesidad que en el planteamiento del primero se incorporen los requisitos demandados por el segundo, se prevengan y planifiquen las futuras actualizaciones de explotación y se imbriquen tanto los condicionantes como los objetivos a alcanzar.

### **1.3.- LA PROBLEMÁTICA DE LA INEXISTENCIA DE UNA ADECUADA GESTIÓN DE EXPLOTACIÓN**

La correcta y eficaz “Explotación” de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (E.D.A.R) es la consecuencia lógica de la inversión realizada en infraestructura sanitaria con el fin primordial de conservar la calidad de un bien público, como lo es el recurso hidráulico.

Todas las consideraciones que se efectúan, en el sentido de potenciar la importancia de la explotación y el mantenimiento de las instalaciones, serán pocas para paliar el estado del medio hidráulico y la penuria en que se encuentran algunas instalaciones.

El patrimonio de instalaciones correctoras de contaminación hay que utilizarlo al máximo de su capacidad y convencerse de que su óptima explotación es una tarea necesaria para la conservación de la vida y por tanto requiere la aportación económica de todos los usuarios y la voluntad decidida de los responsables de la política ciudadana.

Aunque cada vez, gracias a los esfuerzos de muchas áreas de responsabilidad, al desarrollo técnico y a la concienciación ciudadana, viene siendo menos frecuente que se efectúen “malas” explotaciones, conviene repasar algunos datos relativamente recientes.

Una encuesta realizada en Francia (Agence Seine-Normandie) sobre 1.260 E.D.A.R. en 1977 puso de manifiesto las siguientes anomalías:

- Ausencia de equipamiento indispensable 12%.
- Mala concepción y dimensionado 34%.
- Mala explotación y mantenimiento insuficiente 32%.
- Puesta a punto defectuosa 21%.

En 1981 la Dirección general de Medio Ambiente (M.O.P.U.), inventarió los siguientes problemas sobre:

\* No funcionamiento de E.D.A.R.

- Falta del mínimo mantenimiento 68%.
- Falta de elementos básicos 56%.
- No conexión al alcantarillado 30%.
- Falta de recursos económicos 22%.
- Explotación incorrecta 16%.
- No disponer de energía eléctrica 6%.

\* Mal funcionamiento de E.D.A.R.

- Falta del mínimo mantenimiento 79%.
- Falta de elementos básicos 33%.
- Explotación incorrecta 26%.
- Infradimensionamiento 24%.
- Vertidos industriales 12%.
- Falta de recursos económicos 12%.

Lo cual demostraba que las causas debidas a una deficiente gestión de explotación del sistema de saneamiento, condicionan en una mayor medida el incumplimiento del objetivo de reducir la contaminación.

Algo han cambiado las cosas desde aquellos estudios y la mejora es evidente, pero estos aspectos de alguna forma siguen definiendo la problemática que hay que resolver.

## **2.- LA GESTIÓN Y EL CONTROL DE LAS FUENTES EMISORAS DE AGUA RESIDUAL (VERTIDOS ESPECIALES E INDUSTRIALES)**

Las E.D.A.R. están diseñadas, básicamente, para tratar las aguas domésticas, procedentes de los usos humanos, fácilmente biodegradables y cargadas de una contaminación que podría denominarse “natural”.

Es obvio que en una conurbación se emplazan una serie de instalaciones industriales cuyo objetivo es el de facilitar un número de servicios al ciudadano, que habita en la ciudad. Estos servicios suelen generar unos efluentes de idéntica calidad que los “domésticos”.

Pero no todas las ciudades (o pueblos de una cierta magnitud) se basan en una economía de tipo agrícola o de servicios (terciario), es más, la mayoría tienen una fuerte localización industrial.

Las industrias generan una contaminación doméstica y en muchos casos con componentes tóxicos o inhibidores para los procesos de síntesis y descomposición biológica. Es decir, bastante molestas para la explotación de estas infraestructuras, pensadas para resolver otra problemática.

Aun en el caso de E.D.A.R. diseñadas para combatir una fuerte contaminación industrial (Tratamientos Físico-Químicos o Pretratamientos especiales), en que la problemática técnica de explotación es menor, no se pueden olvidar los “sobrecostos” que generan estos tratamientos, comparativamente con los correspondientes a los efluentes domésticos. Algunos de los cuales, como pueden ser los derivados de la disposición final de los fangos (en caso de contaminación por metales pesados lo que imposibilita la aplicación agrícola) no suelen ser tenidos en cuenta.

Es por ello que es preciso:

- a) Conocer la problemática de la presencia de efluentes industriales en los sistemas de saneamiento.

b) Establecer una adecuada normativa (normalmente en forma de Ordenanzas Municipales sobre uso de alcantarillado o vertidos o su red) que regule y límite las condiciones de su uso.

c) Establecer un control en la gestión de los vertidos industriales (cumplimiento de la normativa, coordinación con la gestión de la Depuradora). Control que debe ser:

*Directo:* mediante vigilancia de los vertidos.

*Indirecto:* estableciendo un método “disuasorio” frente al incremento de contaminación. Por ejemplo creación de tarifas o cánones que penalicen el coste del agua en función del grado de aporte contaminante. Lo que permite la reducción de la contaminación vertida por los industriales gracias a la optimización económica de la gestión de sus vertidos.

*Mixto:* que sería el resultado de integrar las dos medidas anteriores y que , por su mayor eficacia se ha ido imponiendo poco a poco.

## **2.1.- COORDINACIÓN CON LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DEL ALCANTARILLADO**

A nadie se le escapa que una adecuada coordinación entre el mantenimiento del sistema de recolección y transporte (alcantarillado) y la explotación de la instalación correctora (depuradora) es fundamental para optimizar la reducción de la contaminación al cauce receptor.

El conocimiento por parte de los explotadores de la Depuradora de las actividades de limpieza, reparación, ampliación, eliminación de fangos o entradas de aguas parásitas, permitirá adecuar el proceso de depuración a la coyuntura ocasionada y salvaguardar la calidad del agua depurada.

Por otro lado el conocimiento de la problemática de la presencia de efluentes industriales en las redes de alcantarillado permitirá adecuar el proceso de depuración a la coyuntura ocasionada y salvaguardar la calidad del agua depurada.

Cuatro aspectos deben ser tenidos en cuenta, en relación con dicha problemática:

- Protección de canalizaciones frente a compuestos agresivos o corrosivos.
- Prevención de atascos y obstrucciones tóxicos o peligrosos para el personal de explotación tanto de la red de alcantarillado como de la depuradora
- Eliminación de vertidos con compuestos tóxicos o inhibidores de los procesos de depuración (biológicos), o que delimiten las posibilidades de disposición de los fangos obtenidos.
- Eliminación de vertidos líquidos que pueden llevar elementos o compuestos peligrosos para el medio-ambiente y que no sean susceptible de depurar o ser reducidos por las herramientas ecológicas (infraestructuras de depuración) de las que se dispone.

## **2.1.1. Problemática de la presencia de efluentes industriales en redes de alcantarillado y estaciones depuradoras de Aguas Residuales.**

### ***2.1.1.1. Ataques a la integridad física de las canalizaciones componentes o características agresivos o corrosivos***

En estas instalaciones públicas de saneamiento, las aguas residuales que circulan por los conductos, o que encuentran en contacto con las piezas de los equipos e instalaciones, provocan un gradual deterioro en las mismas. Este fenómeno, que generalmente se denomina corrosión, puede ser mucho más intenso y grave en aquellas instalaciones que recojan, transporten y traten aguas residuales industriales conjuntamente con aguas residuales domésticas, si no se toman las adecuadas medidas preventivas.

La agresividad de las aguas residuales es consecuencia de una serie de complejos fenómenos físicos, químicos y biológicos interrelacionados, cuya aparición, así como la intensidad y extensión del efecto corrosivo que provocan, depende no solamente de las características de las aguas residuales en cuestión (composición y variabilidad de las mismas) sino también, y en ocasiones fundamentalmente, de otros factores como:

- a) Características físicas, químicas, mineralógicas y estructurales del material de construcción empleado en las conducciones, instalaciones y equipos.
- b) Condiciones locales en la zona de contacto del agua residual con el material de construcción. Superficie de contacto, duración del contacto, renovación del agua, variabilidad del caudal, velocidad y lámina de la corriente residual, régimen de flujo por gravedad o en carga, ventilación, turbulencia, etc.

Por ello, los datos que se reseñan a continuación acerca de los componentes y características de los vertidos industriales que pueden causar problemas de corrosión de las instalaciones públicas de saneamiento, deben ser interpretadas en función de las condiciones locales a la hora de evaluar y prever posibles efectos corrosivos.

Puesto que usualmente, y por condicionantes técnicos y económicos, las conducciones e instalaciones de las redes de alcantarillado y las estaciones depuradoras están construidas a base de hormigón y las estaciones depuradoras están construidas a base de hormigón de cemento Portland, (o más raramente puzolánico), hierro fundido y acero, al describir a continuación las posibles formas y causas de ataque a su integridad física prestaremos especial atención a los componentes o características de las aguas residuales que son agresivos hacia estos materiales. Incluiremos: Acidez, Alcalinidad, sales, gases, compuestos orgánicos en general, aguas blandas y temperatura.

### **Acidez**

Las aguas ácidas, que contienen un exceso de iones hidrógeno y por tanto poseen un pH menor de 7, ejercen un notable efecto disolvente sobre los conglomerantes hidráulicos del hormigón e incluso sobre los áridos que contienen carbonatos.

Los ácidos clorhídrico, nítrico y sulfúrico son particularmente agresivos hacia el hormigón debido a la gran solubilidad de las sales cálcicas que forman.

Los ácidos fórmico, acético, láctico y butírico, a suficiente concentración, presentan una clara agresividad.

### **Alcalinidad**

Únicamente las concentraciones muy altas en iones  $\text{OH}^-$  ejercen efectos disolventes sobre los hormigones por formación de aluminatos solubles o por descomposición alcalina de los silicatos. Sólo las lejías concentradas, a más de un 10%, de hidróxido sódico o potásico o más de un 25% de carbonato sódico son realmente peligrosas.

### Sales

Las sales amónicas disuelven la cal hidratada del conglomerante mediante una reacción de desplazamiento de una base débil (Hidróxido amónico) por una fuerte (el H. cálcico).

La acción de las aguas conteniendo sulfatos provoca uno de los tipos de corrosión o ataque al hormigón más espectaculares. Los iones sulfatos reaccionan con el aluminato tricálcico formando una sal sólida cuyo volumen es 2,5 veces superior al producto originario creando unas tensiones importantísimas y desintegrando el hormigón.

Las sales de hidrólisis fuertemente ácida son agresivas (sales de ácidos clorhídrico, sulfúrico, nítrico y de metales pesados).

### Gases

La presencia del ácido sulfhídrico en las aguas residuales (efluentes de fosas sépticas o vertidos de instalaciones agropecuarias), su desprendimiento y la oxidación bacteriana húmeda del mismo genera la formación de sulfúrico libre.

Comienza a existir peligro de corrosión cuando la atmósfera tiene una concentración superior a las 2 p.p.m.

El dióxido de azufre (anhídrido sulfuroso) produce similares acciones. El cloro húmedo corroe la mayor parte de los metales y al disolverse forma ácido clorhídrico, altamente agresivo.

### Compuestos orgánicos

Las aguas azucaradas pueden entrar en fermentación produciendo componentes ácidos.

Los aceites y grasas de origen vegetal o animal (esteres de ácidos grasos) pueden atacar al hormigón mediante reacciones de saponificación.

Los fenoles, presente en aceites minerales y alquitranes, en cantidades superiores a los 70 mg./l. pueden ser agresivos.

Los disolventes orgánicos fuertes pueden solubilizar la cal, dando lugar a deterioro del hormigón.

### Aguas blandas

Aguas con dureza total inferior a 50 mg.  $\text{CO}_3\text{Ca/l}$ . generan una acción lixivadora sobre la cal hidratada.

### Temperatura

Temperaturas del líquido circulante superiores a  $65^\circ\text{C}$  pueden producir reblandecimientos de juntas asfálticas y deterioro de las juntas de goma.

Por otra parte la elevación de la temperatura puede ocasionar condiciones anaróxicas y desprendimiento de sulfhídrico.

#### 2.1.1.2. Componentes y condiciones obstructoras del flujo de las aguas residuales

Los taponamientos y obstrucciones en la red de alcantarillado, tienen lugar predominantemente en conductos de pequeño diámetro (inferior a 40 cm.), por ejemplo en albañales longitudinales o particulares de una finca. Pueden ser causados por:

- a) Hidróxidos, sulfatos o carbonatos que pueden reaccionar con los bicarbonatos o sales cálcicas del agua formando incrustaciones de sulfato o carbonato cálcico capaces de recubrir y obstruir finalmente las tuberías.
- b) Los ácidos grasos y jabones que pueden reaccionar en forma similar con las sales cálcicas del agua formando una capa pegajosa de jabón cálcico capaz de obstruir los desagües.
- c) Aceites y grasas, materiales que aunque son típicamente descargados en forma líquida o emulsionada pueden solidificar o coagular y provocar obstrucciones. Generalmente las temperaturas a que se encuentran las alcantarillas son suficientemente altas para cortar la solidificación de los aceites y grasas de origen petrolífero, (tipo hidrocarburos).

d) Sólidos en suspensión, cuando son de consistencia floculenta y poco densa y su vertido tiene lugar en zonas donde las aguas residuales del alcantarillado receptor fluyen a buena velocidad, se les puede admitir sin peligro de causar depósitos aunque estén a concentraciones tan altas como varios gramos por litro.

#### 2.1.1.3. Componentes nocivos o peligrosos

La creación de condiciones peligrosas, nocivas o tóxicas para el personal encargado del mantenimiento y funcionamiento de una Instalación Pública de Saneamiento (I.P.S.) es usualmente consecuencia de la anómala acumulación de determinados tipos de gases o vapores en la atmósfera interior de las canalizaciones de la red de alcantarillado, o en la de recintos muy cercanos o zona poco ventiladas de dichas instalaciones.

Tales atmósferas se pueden formar como resultado de descargas de efluentes industriales conteniendo materias indeseables, o a consecuencia de la actividad de las bacterias contenidas en las propias aguas residuales. Según la naturaleza química y las concentraciones alcanzadas por los gases o vapores presentes, dichas atmósferas contaminadas son susceptibles de provocar desde simples molestias, por malos olores, hasta asfixia o intoxicaciones más o menos graves en el personal o peligrosos fuegos o explosiones.

Entre los factores que influyen en la concentración que puede alcanzar un determinado componente indeseable en la atmósfera en equilibrio con el agua residual circulante que lo contiene, podemos citar:

- a) Características químicas y físicas del agua residual incluyendo:  
temperatura, pH, contenido en componente indeseable, sólidos, etc.
- b) Solubilidad y volatilidad del componente indeseable.

- c) Densidad de dicho componente, en los distintos estados físicos en que puede estar presente.
- d) Volumen del espacio libre en la alcantarilla o en el recinto en que se encuentra el agua residual.
- e) Turbulencia y área superficial efectiva del agua residual.
- f) Ventilación.
- g) Formación de aerosoles de aguas residuales que pueden contener el componente indeseable en solución.

Los efectos o peligros que puede provocar un determinado contenido de sustancia indeseable en la atmósfera será función de :

- a) Características propias de la sustancia: Detectabilidad por el olor (concentración umbral), parámetros relacionados con los efectos fisiológicos y toxicología de la sustancia a diferentes concentraciones (concentraciones máximas tolerables o permisibles, etc...) punto de inflamación o de autocombustión, límites de explosividad o inflamabilidad, etc.
- b) Condiciones locales de la zona contaminada: presencia simultánea de otros gases o vapores indeseables con posibles efectos aditivos, sinérgicos o antagónicos, existencia o posibilidad de aparición de focos de ignición, etc...
- c) Estado físico y psíquico del trabajador expuesto a la atmósfera contaminada, en las condiciones a menudo claustrofóbicas del trabajo, que determinará su particular susceptibilidad o sensibilidad a los efectos de la sustancia indeseable.

d) Precauciones de seguridad e higiene adoptadas en la ejecución de los trabajos.

La imperiosa necesidad de prevenir la creación de tales condiciones peligrosas, nocivas o tóxicas, obligará por lo tanto, a los organismos responsables de toda Instalación Pública de Saneamiento, a establecer normativas que controlen estrictamente el vertido o evacuación al alcantarillado de determinadas sustancias indeseables que por su uso ampliamente extendido en la sociedad actual puedan ser la principal fuente de problemas de este tipo.

Las sustancias cuyo vertido se controla usualmente pertenecen a las tres categorías generales siguientes:

- 1) Líquidos orgánicos volátiles (Hidrocarburos, Disolventes halogenados, etc...).
- 2) Sustancias reactivas (Carburos, hidruros, sulfuros, cianuros, hipocloritos, sulfitos, peróxidos, cloratos, bromatos, etc...).
- 3) Gases (Sulfhídrico, Cianhídrico, etc...).

2.1.1.4. Compuestos tóxicos o inhibidores de los procesos. Biológicos.

Otros compuestos cuyo vertido debe ser evitado o regulado, son aquellos que producen problemas en el proceso de Tratamiento Biológico. Algunos datos de referencia pueden darse:

**Tabla N° 1:** Rango toxicidad de sustancias minerales en depuración biológica aerobia.

<b>PRODUCTOS</b>	<b>Valor Límite en mg./l.</b>
ARSÉNICO	4
CADMIO	T - 5
CLORURO DE SODIO	8.000 - 9.000
CROMO TRIVALENTE	40
CROMO HEXAVALENTE	2 - 5
COBRE	1
CIANUROS	1 - 1,6
HIERRO	100
MERCURIO	0,2
NÍQUEL	6
PLOMO	1
SULFOCIANUROS	36
SULFUROS	20
ZINC	1 - 3

**Tabla N° 2:** Rango toxicidad de sustancias minerales en depuración biológica anaerobia.

<b>SUSTANCIA</b>	<b>Valor Límite (en mg./l)</b>
DINITROFENOL	4
FORMALDEHIDO	135 - 175
HIDROQUINOMEA	600
HIDROXILAMINANTE	33
CLORURO DE METILENO	1.000
FENOL	75
PIROCATEQUINA	500 - 1.000
RESORCINA	2.500
TELOUL	200
TRITILAMINA	1.000
TRINITROTOLUOL	24

## 2.1.2. Bases Técnicas del Pretratamiento de efluentes industriales.

### 2.1.2.1. Pretratamientos

Los efluentes industriales que, tras la aplicación de medidas internas de control, sean clasificables como prohibidos, tolerables con limitaciones, o incompatibilidades, deberán someterse a uno o varios de los siguientes procesos u operaciones unitarias de pretratamiento, antes de ser admitidos en las redes de alcantarillado.

- Desbaste o Cribado.
- Desarenado.
- Igualación.
- Neutralización.
- Separación de aceites y/o grasas.
- Separación de sólidos en suspensión.
- Precipitación química.
- Reducción química.
- Oxidación química.
- Pretratamientos especiales.

Incluso, en determinados casos, efluentes industriales clasificables como compatibles deberán o podrán sufrir pretratamientos, frecuentemente destinados tan sólo a reducir su contenido en contaminantes hasta niveles similares a las que se encuentran en las aguas residuales domésticas o urbanas. Tal tipo de pretratamientos serán absolutamente necesarios si la Instalación Pública de Saneamiento, receptora de los efluentes, carece de reserva de capacidad de tratamiento imprescindible para asimilar y eliminar convenientemente la carga adicional que estos afluentes pueden aportar.

Asimismo, puede resultar económicamente más conveniente, para una determinada industria productora de efluentes compatibles, efectuar el pretratamiento de reducción de carga a sus costas, antes de abonar la tasa y/o sobretasa de depuración que le corresponda por el uso de la instalación comunitaria de tratamiento.

### 2.1.2.2. Medidas internas de control

Se consideran, usualmente, medidas internas de control las que, sin constituir propiamente aplicación de tecnologías de depuración de efluentes, son requisito previo de las mismas, siendo su objetivo la segregación según tipos y la reducción de la carga contaminante y el volumen de los vertidos a tratar. Pueden incluir entre otras medidas:

- a) Modificaciones del proceso de fabricación y red de desagües.
- b) Sustitución de materias, primas o auxiliares.
- c) Adopción de prácticas de buen mantenimiento y conservación.
- d) Optimización del consumo de agua con recuperación y reciclado de aguas usadas.
- e) Recuperación de materiales y comercialización de subproductos.
- f) Eliminación de residuos industriales concentrados (sólidos, líquidos o pastosos) a través de servicios de recogida públicos o privados que aseguren su destrucción o destoxicación en plantas centralizadas, del tipo de las existentes en algunas áreas industriales.

## **2.2. ORDENANZAS DE VERTIDO.**

Toda vez que por Ley (Régimen Local), en nuestro país la responsabilidad de la gestión del saneamiento municipal es de las Entidades Locales, la forma legal habitual, para regular los vertidos a las redes de alcantarillado, es la de la Ordenanza.

La Ordenanza de vertido debe tener por objeto el reglamentar las condiciones en que serán admisibles las descargas de efluentes residuales a las instalaciones públicas de saneamiento (colectores y depuradoras), y establecer las prescripciones a que deberán someterse los usuarios del saneamiento y depuración.

### **2.2.1. Desarrollo histórico.**

El contenido de las Ordenanzas sobre uso de Alcantarillado ha evolucionado en el transcurso del tiempo, en forma que, a grandes rasgos, es paralela a la creciente complejidad de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Las primitivas ordenanzas fueron consecuencia de los códigos locales de sanidad o de instalaciones sanitarias y su contenido estaba dedicado principalmente a la normalización de los materiales usados en la construcción de las alcantarillas y en las conexiones a las mismas. Puesto que el tratamiento de las aguas residuales estaba limitado a la sedimentación de los materiales sólidos, el contenido de las ordenanzas en esta etapa, se enfocaba hacia la protección de las alcantarillas de los peligros de taponamiento, corrosión y explosión. La mayoría de las ordenanzas se han edificado alrededor de estas disposiciones básicas y han ido ampliando su alcance a medida que han surgido nuevas necesidades.

Con el advenimiento de los procesos de tratamiento secundario y el desarrollo de la digestión anaerobia, se ha hecho necesario un control más estricto sobre ciertos contaminantes orgánicos o inorgánicos disueltos a fin de prevenir efectos inhibitorios sobre estas unidades de tratamiento utilizadas. En muchos casos este tipo de control se ha establecido mediante la asignación de límites de concentración permisible en las descargas de contaminantes críticos al alcantarillado.

Con la tendencia más reciente a la aplicación de patrones de calidad, nacionales o locales, a las descargas a cauces receptores de los efluentes tratados en Instalaciones Públicas de Saneamiento (que en muchos casos requiere incluso la eliminación de cantidades a nivel de “trazas” de ciertos contaminantes tóxicos) ha aparecido la necesidad de que se establezca un control directo sobre los establecimientos industriales usuarios de mayor importancia. Para obtener información y control sobre estas fuentes de vertidos, muchas ordenanzas incluyen en la actualidad, disposiciones sobre autorización de vertido y/o auto vigilancia (autocontrol) de los establecimientos industriales citados.

Finalmente, y a medida que han ido creciendo los costes de tratamiento a causa de la necesidad de elevar los niveles de calidad en los efluentes tratados, muchos sistemas. se han visto obligadas a aumentar sus ingresos ampliando sus fuentes básicas. Ello ha revestido la forma de la promulgación de un gravamen sobre el usuario que se aplica a aquellos contribuyentes cuyos desechos contienen una carga contaminante superior a la de las aguas residuales domésticas.

No existe una sola ordenanza, entre las que rigen actualmente, que pueda ser considerada una representación típica de la totalidad, y ni siquiera de la mayoría de las ordenanzas aplicadas corrientemente. El control efectivo del uso del alcantarillado ha venido obteniéndose mediante la aplicación de ordenanzas con estructuras tanto simples como complejas.

### **2.2.2. Tipos de Ordenanzas.**

En el alcance y contenido de una “Ordenanza de Uso del Alcantarillado” influyen dos factores: El primero de ellos es si la Ordenanza ha sido diseñada para incluir todas las disposiciones generales y depende, para su interpretación y aplicación, de reglamentos que se publican aparte. El segundo factor es si la ordenanza incorpora o no un sistema de permisos o autorizaciones de vertido, ya sea sólo para los usuarios industriales, o para todos los usuarios del Sistema de Saneamiento.

Evidentemente, una ordenanza que compendie todas las disposiciones aplicables, será un documento más extenso que otra que no lo haga. Si además incluye el sistema de autorización de vertidos, lo será todavía en mayor medida.

Generalmente, las comunidades más pequeñas y con relativamente pocas industrias, usarán una ordenanza “compendio” pero no emplearán un sistema de autorizaciones.

A medida que crezca el tamaño de la Instalación Pública de Saneamiento o, lo que es más importante, aumente el número de usuarios industriales, se volverá más difícil conseguir que la documentación de la Ordenanza “compendio” proporcione la suficiente flexibilidad, para hacer frente a las numerosas diferencias individuales entre los usuarios industriales. En estos casos, puede ser más efectivo el empleo de un documento menos extenso y que sólo establezca disposiciones generales. Este tipo de Ordenanza se complementa, entonces, con un conjunto de reglamentos separados que explican las responsabilidades de los usuarios con respecto a las disposiciones generales.

Los reglamentos complementarios pueden tomar la forma de un sistema de autorizaciones con inclusión o no de otras disposiciones sobre la autovigilancia industrial. Los requisitos de autorización y autovigilancia son particularmente útiles en aquellas I.P.S. que estén iniciando el sistema de control de descargas industriales y que pretendan seguir un programa de desarrollo de su información acerca de los usuarios industriales. Empleando disposiciones que establezcan los requisitos de autorización y autovigilancia, el responsable de la aplicación de la Ordenanza puede ampliar la cobertura que proporcione un personal inicialmente escaso. En años sucesivos, y a medida que se incremente la capacidad de trabajo de los equipos de campo y de los laboratorios podrán usarse en mayor grado los métodos directos de vigilancia de cumplimiento. En un programa de control de vertidos industriales completamente desarrollado, la vigilancia directa del cumplimiento es usualmente el instrumento más efectivo para la aplicación de la ordenanza.

### **2.2.3. Estructura tipo de una Ordenanza de Vertidos.**

La figura legal que venimos analizando debería tener una estructura similar a la siguiente, resumida en el índice:

# ÍNDICE

<b>TÍTULO I</b>	<b>Disposiciones generales</b>
<b>TÍTULO II</b>	<b>Condiciones de los vertidos a la Red Saneamiento</b>
	Capítulo 1 Vertidos prohibidos
	Capítulo 2 Vertidos tolerados
	Capítulo 3 Instalaciones de pretratamiento
	Capítulo 4 Descargas accidentales
<b>TÍTULO III</b>	<b>Control de los vertidos a la Red de Saneamiento</b>
	Capítulo 1 Solicitud de vertidos
	Capítulo 2 Autorización de vertidos
	Capítulo 3 Muestreo y análisis de los vertidos
	Capítulo 4 Inspección y vigilancia
	Capítulo 5 Protección de las E.D.A.R.
	Capítulo 6 Protección de los cauces públicos
<b>TÍTULO IV</b>	<b>Régimen disciplinario</b>
	Capítulo 1 Normas generales
	Capítulo 2 Clasificación de las infracciones
	Capítulo 3 Clasificación de las sanciones
<b>TÍTULO V</b>	<b>Disposiciones finales</b>
<b>TÍTULO VI</b>	<b>Disposiciones transitorias</b>
<b>TÍTULO VII</b>	<b>Anexos</b>

A continuación se copian dos artículos de la Ordenanza de vertido del Ayuntamiento de Madrid, que puede servir de ejemplo de lo anteriormente citado:

**Artículo 226.** *Las concentraciones máximas instantáneas de contaminantes permisibles en las descargas de vertidos no domésticos serán las siguientes:*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>CONCENTRACIÓN</b>
DBO	1.000
pH	6 - 10
Temperatura (°C)	50°
Sólidos en suspensión (partículas en suspensión o decantables 0,2 micras)	1.000
Aceite y grasas	100
Arsénico	1 - 2
Plomo	1 - 2
Cromo total	5
Cromo hexavalente	5
Cobre	5
Zinc	5
Níquel	5
Mercurio	1
Cadmio	1
Hierro	50
Boro	4
Cianuros	5
Sulfuros	5
Fenoles totales	10

**Artículo 227.** *Dentro de la regulación contenida en esta Ordenanza, el Ayuntamiento podrá establecer acuerdos especiales con los usuarios de la red de saneamiento, individual o colectivamente, cuando las circunstancias que concurran lo aconsejen.*

Dentro de los vertidos prohibidos cabe relacionar:

- \* Mezclas explosivas e inflamables.
- \* Materias sólidas y viscosas.
- \* Disolventes e inmiscibles.
- \* Sustancias corrosivas y agresivas.
- \* Materias coloreadas y sustancias colorantes.
- \* Residuos industriales.
- \* Residuos radiactivos.
- \* Sustancias tóxicas para las personas.
- \* Sustancias tóxicas o inhibidoras de los procesos biológicos de depuración.

Los vertidos autorizados o tolerados deben ajustarse a unas características limitantes similares a las que figuran en la tabla adjunta (Ordenanza del Ayuntamiento de Madrid) o similar.

### **2.3. CONTROL DE VERTIDOS**

Para alcanzar los objetivos previstos de a) Protección a las I.P.S., b) Asegurar el correcto funcionamiento de las E.D.A.R. y c) Proteger el medio acuático de posibles descargas contaminantes, es preciso asegurar la adecuada vigilancia y control de los vertidos líquidos.

Los requerimientos básicos y las actividades mínimas necesarias para llevar a efecto un programa de control de vertidos, son:

- 1.- Establecer una adecuada catalogación o inventario de vertidos.

Para ello es preciso efectuar la :

- Localización de industrias y potenciales sujetos productores de contaminación especial. Previa actualización de inventarios industriales

(Municipales, Ministerio de Industria, Cámaras de Comercio, etc.).

- Clasificación de los mismos de acuerdo a su tipología, su volumen o su potencial contaminador. Determinado la naturaleza de sus efluentes por el conocimiento técnico de los procesos industriales, materiales primas utilizadas, etc.
- Requisición de información real, a través de encuestas (utilizando una ficha adecuada) o entrevistas e incluso campañas de muestreo (regular o aleatorio).
- Asegurar una autorización legal de entrada de inspección y obtención de muestras. Al mismo tiempo que se regula la aprobación o autorización de los diferentes vertidos.
- Establecer un programa de “monitoring” (control y vigilancia de caudal y carga contaminantes). Es preciso determinar el tipo de control a realizar a en función de la problemática existente o de la adecuada cooperación industrial.
- El control puede estar basado en:
  - \* Autocontrol industrial y comunicación de informes al organismo gestor.
  - \* Seguimiento por programa de muestreo (calidad y cantidad) regularmente establecido.
  - Control aleatorio de los efluentes, basado o no en la priorización de aquellos de mayor potencial contaminador bien utilizados de forma independiente o conjunta.

Este programa debe ser gestionado y dirigido a través de una organización que desarrolle:

- Trabajo de campo.
  - Recogida de muestras representativas, bien sean *simples* o *compuestas* realizadas con métodos manuales o automáticos o Registro de calidad de vertido , realizado con instrumentación adecuada (electrodos selectivos y autoanalizadores).  
Con toda la problemática asociada de mantenimiento de equipos, selección y adecuación de los mismos, preservación de muestras, manejo, y transporte, identificación de las mismas, etc.
- Medición de caudales vertidos (medición continua o discreta).
- *Análisis de Laboratorio*. Selección y creación de los mismos, fijación de los procedimientos analíticos más seguros y menos costosos.
- *Trabajo administrativo auxiliar*. El volumen de datos generados, la comunicación con las industrias reguladas y todo el trabajo necesario para mantener al día los inventarios y catálogos de vertidos especiales requiere el establecer un adecuado soporte administrativo.

2.- Sistema para recaudar los costes generados por la depuración de los vertidos especiales.

Sin duda uno de los sistemas que mayores resultados asegura, en la gestión de los vertidos industriales, es aquel que actúa en forma DISUASORIA frente al vertido de contaminación.

Normalmente el empleo de tarifas que recargan el coste del volumen unitario de agua depurada en función de su calidad (mayor coste a mayor carga contaminante) asegura, a

medio plazo, la reducción de los vertidos tanto en cantidad como en carga contaminante, al ser “interiorizado” por el industrial como un coste de producción que debe ser minimizado.

### 3. CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

#### 3.1. ENTE GESTOR

La necesidad de un “ente gestor” integrador y responsable ante la administración pública y el ciudadano ha sido convenientemente explicada.

Tres formas principales de “ente gestor” pueden encontrarse:

- a) Gestión directa por la propia Administración (Local, Regional o Autonómica).
- b) Gestión a través de adjudicación del servicio (CONCESIÓN y CONTRATACIÓN) a una Empresa (Privada, Mixta o Pública). Ó bien el CONVENIO , entre Administraciones Públicas con el fin de delegar las funciones en un organismo público establecido al efecto.
- c) Gestión a través de organizaciones públicas que permitan una asistencia técnica a la explotación. (Mecanismo usado en otros países , pero con pocas ó nulas referencias en España)

Existe evidencia contrastada que el caso a) no es óptimo frente a los otros. Además de ser poco eficaz, incurre en la dificultad de ser ágil, rápida, profesional y competitiva, no admitiendo una burocratización que ralentice o paralice la consecución de los objetivos.

La gestión a través de Empresa Privada (adjudicada mediante concurso público) presenta ventajas de :

- \* Libre concurrencia.
- \* Competencia.
- \* Exigencia de cumplimiento de resultados y penalización de distorsiones.
- \* Permite un control externo de resultados.

Tiene las desventajas del desconocimiento, por parte de la Administración, de los costes reales y puede llevar a un determinado régimen de oligopolio, cuando no de monopolio, en la gestión de un bien público.

La Empresa Mixta, en la cual la Administración interviene en los órganos de propiedad y dirección del ente, es una fórmula que, al menos teóricamente, resuelve alguna de las dificultades anteriores, sin perder las ventajas.

La Empresa Pública, bien dirigida y gestionada con criterios exclusivamente técnicos y empresariales, puede en muchos casos (existencia por razones históricas, inexistencia de iniciativa privada, tratarse de la gestión de un bien público, etc.) ser tan competitiva como las formas anteriores de gestión e incluso puede tener ventajas frente al posible caso de monopolio del servicio.

Es evidente que la Empresa Pública requiere estar sometida a un control de resultados y en sus órganos de administración debe existir una real representación del ciudadano.

El sistema de organizaciones (estatales, autonómicas o locales) especializadas en la actividad de explotación de sistemas de saneamiento, se ha empleado con éxito y funciona satisfactoriamente en su calidad de Asistencia y/o Control. Este sistema permite especializar la actividad manteniéndose fuera de los avatares, y de la circunstancia económica, de la gestión directa. No obstante se trata de un sistema de tutela o asistencia técnica especializada que de cumplir su misión en una etapa de transición en donde sea necesario promover la profesionalización del servicio.

### **3.2. ORGANIZACIÓN**

En la figura adjunta podemos seguir un esquema sintético de la configuración de la gestión de explotación.

En ella se distinguen:

- \* Recursos Humanos.
- \* Recursos Económicos.
- \* Organización.

\* Tecnología.

Como ya ha quedado establecido, la explotación es la fase final del proceso de depuración y tiene como objetivo armonizar los anteriores recursos con la finalidad de transformar el agua residual en un agua tratada que cumpla las condiciones medioambientales, todo ello dentro de un coste mínimo.

Las peculiaridades del proceso de depuración, que obligan a una determinada organización, son:

- El agua bruta, como materia prima de la instalación, varía tanto en calidad como en cantidad, no siendo ni seleccionable ni desechable.
- Es una tarea de 24 horas durante 365 días al año.
- Es fundamental la regularidad en la explotación y un factor de servicio del 100%.

A la vista de los objetivos básicos, las tareas fundamentales se pueden centrar en:

- Mantenimiento y Conservación de equipos e instalaciones.
- Operación de dichos equipos.
- Control del proceso.
- Control y seguimiento de los aspectos económicos y administrativos.

La complejidad de la organización del servicio de explotación, dependerá, en suma medida, del tamaño de la E.D.A.R.

En las grandes unidades se requerirá una organización muy especializada y jerarquizada, tal y como:

- El responsable será el Jefe de Planta, sobre el que recaerá la misión de dirigir y coordinar las tareas de Explotación, Mantenimiento y Laboratorio.
- El Jefe de Explotación tendrá por misión el sostenimiento del proceso, tomando las decisiones oportunas para la fijación de los parámetros del sistema. La explotación puede dividirse en Divisiones que atiende expresamente a la Línea de Agua, Línea de Fangos, Línea de Gas y recuperación energética.

- El Jefe de Mantenimiento tendrá la responsabilidad de mantener las instalaciones en perfecto estado de uso y conservación, para que la explotación pueda llevarse a efecto.
- El Jefe de Laboratorio debe responsabilizarse de los ensayos y analítica necesarios par determinar los valores de los parámetros de proceso, cuya medición no es directa (no es posible a base de instrumental de campo) y requiere el ensayo de laboratorio.

Para instalaciones pequeñas (menores de 10.000 H.E.) no es adecuado ni rentable aplicar la estructura citada. En muchas de estas E.D.A.R. solo es preciso una visita diaria de pocas horas de duración, por parte de un equipo de operación, requiriéndose una asistencia técnica muy especializada para controlar el proceso y asegurar el cumplimiento del sistema de mantenimiento.

En definitiva cabe resumir, que una organización de depuración debe estar basada en la consecución de los objetivos definidos, debe permitir una clara agilidad y adaptación, y tener fuerte capacidad de innovación. Al mismo tiempo debe regirse por criterios técnico-económicos, y de eficacia, todo lo cual configura, lo que podríamos denominar una estructura empresarial.

Hoy en día, debido a la suma complejidad de las instalaciones, y a las necesidades de optimizar los costos, no se entienden las estructuras “cerradas”, autosuficientes, por el contrario y cada vez más las fuertes interrelaciones económicas y técnicas obligan a una gestión más “abierta”, mas especialidad y que origina la necesidad de “subcontratar” actividades y servicios externos que son auxiliares a la propia operación E.D.A.R.

### **3.3. RECURSOS HUMANOS**

Diferentes estudios han permitido conocer el empleo medio generado por una E.D.A.R. Los propios condicionantes del tipo, capacidad, modernidad y automatización de la instalación pueden modificar sustancialmente las necesidades de personal para llevar a cabo el desarrollo de la explotación.

Algunos datos procedentes de fuentes muy fiables pueden darse, para E.D.A.R. de tipo Fangos Activos:

a)

<i>Capacidad de la E.D.A.R. (l/sg)</i>	<i>Nº de personas empleadas</i>
<b>4,4</b>	<b>0,5</b>
<b>11</b>	<b>1</b>
<b>22</b>	<b>1,5 - 2</b>
<b>44</b>	<b>3</b>
<b>220</b>	<b>6</b>
<b>440</b>	<b>11</b>

b) Número de empleados =  $1,94 Q + 2,38$

Donde Q = caudal en millares de galones de agua tratado por día. 1 galón U.S.A. = 3,785 litros.

Fuente: Management of small to Medium Sized. Municipal Wastewater Treatment Plants (EPA).

c) En el PSIM (Madrid capital) se explotaban las E.D.A.R. (de gran tamaño) con un ratio medio de empleo de veinte personas por cada m<sup>3</sup>/s. (caudal instantáneo nominal) de agua tratada, para plantas de Tratamiento Secundario. Datos del año 1995. Obviamente, esta es una cifra simplemente orientativa, que aumenta para las plantas pequeñas y disminuye con las grandes.

d) El Canal de Isabel II (Comunidad Autónoma de Madrid), explotando un sistema muy amplio, diverso, disperso y complejo, empleaba 1,95 personas por Hm<sup>3</sup>. anual de agua depurada. Sin embargo las E.D.A.R. de capacidad mayor de 1 m<sup>3</sup>/s. eran explotadas por un equipo cercano a las veinte personas (año 1995). Lo cual da idea de la suma influencia del factor escala.

e) En el grafico adjunto puede seguirse una curva , de aproximación a los datos reales por el procedimiento de regresión, de la plantilla media de personal de un conjunto de EDAR de diferentes tamaños, obtenida y realizada por el autor de este documento. Basada en datos reales y conforme con los usos y practicas normales en nuestro país.

### 3.3.2. Especialización sectorial

Ciertamente en instalaciones de cierta entidad se requiere, para llevar a efecto la explotación en adecuadas condiciones, el concurso de una serie de especialistas, los cuales pueden agruparse en los siguientes sectores de actividad:

- \* Ingeniería Sanitaria.
- \* Química.
- \* Biológica.
- \* Mecánica.
- \* Electricidad.
- \* Instrumentación (electrónica).
- \* Automatización e informática.

Se observa pues el fuerte carácter multidisciplinar de las actividades requeridas en explotación.

Normalmente la dirección técnica y de gestión se asigna a Ingenieros o Titulados Superiores o de Grado Medio, con suficiente formación (tanto académica como por experiencia) en casi todas las actividades detalladas, aunque su especialización lógica debe ser la de Ingeniero Sanitario, es su más amplia acepción (lo que no predetermina el origen universitario, según la especialización académica oficial establecida en nuestro país).

El mantenimiento suele ser dirigido por Técnicos en el área industrial, mientras que la responsabilidad del control (Laboratorio) es encomendada a Titulados en Ciencias Químicas, Biológicas o Farmacia.

Todo ello es válido para E.D.A.R. de gran tamaño, mientras que en las pequeñas las responsabilidades son asumidas por Técnicos cualificados (Formación Profesional de Segundo Grado) en las mismas disciplinas.

Para el desarrollo de las tareas de explotación y mantenimiento se pueden determinar las siguientes especializaciones laborales:

- Operadores de E.D.A.R.
- Mecánicos.
- Electricistas.
- Instrumentistas.
- Operadores de ordenador (y sistemas informáticos y automáticos).
- Analistas de Laboratorio.

En pequeñas instalaciones el oficial Operador de E.D.A.R. asumirá tareas multidisciplinares, debiendo conocer la realización (al menos en sus niveles básicos) de las labores de especialización en plantas grandes.

Al igual que la especialización, en instalaciones de gran magnitud es muy importante la jerarquización. Los cuadros o mandos intermedios (encargados, capataces, jefes de equipo, etc...) tienen una gran importancia y una fuerte responsabilidad frente al funcionamiento de las depuradoras, prestando una inestimable ayuda a la gestión de explotación.

### **3.3.3. Profesionalización** (Curso de formación, entrenamiento práctico)

Uno de los aspectos que, a medio y largo plazo, aseguran en mayor medida el correcto funcionamiento de las instalaciones correctoras de la contaminación, es el de la formación y profesionalización del personal laboral.

En países de nuestro entorno europeo (así como en EE.UU.), en los cuales, historicamente han existido una mayor cantidad de infraestructuras de depuración, se han creado cursos específicos de Formación Profesional para asegurar la cualificación del personal que ha de trabajar en dichas instalaciones. Estos cursos están regulados y

reglamentados oficialmente y aseguran la obtención de títulos adaptados a la especialización referida.

En España, la Administración Pública, hace ya años, fue sensible ante el reto de la formación de especialistas en el nivel operario o mando intermedio, como lo prueba la existencia de Manuales adaptados a este fin (Manual del Operador de E.D.A.R. Convenio EPA-CEDEX).

No obstante, con posterioridad, no se ha consolidado ningún curso específico para este fin (Proliferando, sin embargo, los cursos para post-graduados universitarios y titulados de Grado Medio y Superior), a pesar de existir diferentes intentos, loables pero poco efectivos si observamos la totalidad del sector en el ámbito nacional.

En cualquier caso la formación del personal laboral siempre debe ser de tipo PRÁCTICO - TEÓRICO, siendo la primera faceta de una importancia fundamental.

### **3.4. MOTIVACIÓN**

No sólo la profesionalización es necesaria, la motivación de los equipos de trabajo, como en cualquier otra actividad, es aquí más obligada por su carácter “penoso” (no olvidemos que la materia prima son desechos líquidos) y por las especiales implicaciones que tienen los fallos de explotación (repercusiones medio-ambientales de difícil recuperación).

También, en caso de gestión pública, por las especiales condiciones de contratación y valoración del personal y las dificultades de la compensación económica.

### **3.4. TECNOLOGÍA DE PROCESOS DE DEPURACIÓN**

Además de los aspectos organizativos y de las técnicas propias de la gestión de explotación de una instalación cuasi-industrial, la operación de una E.D.A.R. requiere un conocimiento adecuado de las Técnicas de Ingeniería Sanitaria y de los procesos de depuración, que por sí solos, dada su complejidad y su multidisciplinidad, representan una “asignatura” de obligado aprendizaje. Por otra parte la experiencia real del

funcionamiento de las instalaciones favorece el conocimiento y la optimización de las acciones y decisiones a incorporar en la operación de la E.D.A.R.

### **3.4.1. Operación de los Procesos. Acciones.**

Lógicamente, cada proceso tiene sus peculiaridades y requiere una distinta sistemática de operación.

#### **Pretratamiento**

En esta fase los procesos son, eminentemente, de tipo mecánico, por lo que las acciones a efectuar en ellos son relativamente sencillas.

En el desbaste, la selección del número de canales a disponer en funcionamiento el modo (frecuencia, temporización, etc.) de operación de las rejillas, son decisiones de importancia pero de alta simplicidad, (los parámetros de control son; el tiempo o los niveles de agua).

En el desengrasador, el aporte de aire, para facilitar la separación de los flotantes necesita ser regulado para optimizar dicha separación. La frecuencia de purga a través de las rasquetas o dispositivos de eliminación de la “costra” superficial de grasas en otra acción que es preciso determinar.

#### **Tratamiento Primario**

Proceso de tipo hidráulico - mecánico, cuyo funcionamiento está muy determinado por los datos de diseño.

La acción mas importante a tener en cuenta, independientemente de la propia selección del número de líneas con las que se quiera trabajar, es la regulación de las purgas de fango.

El conseguir la adecuada concentración, para vehicular el fango adecuado y en las condiciones más idóneas para su espesamiento y estabilización posterior, es el objetivo a alcanzar.

La temporización de las purgas, eligiendo el modo de ejecutarlas, más cortas y frecuentes, más largas y espaciadas, continuas o semi-continuas, en cada fase

diaria de funcionamiento, debe ser objeto de estudio y experimentación de la E.D.A.R., a los efectos de alcanzar el objetivo citado.

Lógicamente, cuando existe un tratamiento de tipo Físico-Químico (Precipitación) otras decisiones complementarias deben ser tomadas, tales como elección (calidad) y dosificación de reactivos (cantidad), tomando como parámetros de control del proceso aquellos relacionados con la calidad del agua a obtener en esta fase de tratamiento (Medición de Sólidos en Suspensión, DQO o Turbidez o bien aquellos otros representativos del adecuado punto de acción del reactivo tal como el pH.

### **Tratamiento Biológico**

Varios son los tipos más comunes de proceso biológico para el tratamiento de aguas residuales:

- μ Fangos Activos
  - Convencional (Flujo Pistón)
  - Contacto-Estabilización
  - Doble Etapa
  - Alimentación escalonada
  - Mezcla Completa
  - Aireación prolongada
  - Canales de Oxidación
  - Nitrificación - Desnitrificación
  - Eliminación Biológica de Fósforo

μ Lechos Bacterianos

μ Biodiscos

Estos dos últimos son procesos que podríamos llamar “piñón-fijo” y cuyo funcionamiento viene muy determinado por las condiciones de diseño.

Así en los Lechos Bacterianos prácticamente las variables a tener en cuenta son las siguientes:

- \* Recirculación (Tasa de recirculación sobre el caudal de entrada).
- \* Purgas de fango en los clarificadores.

En el caso de los Biodiscos se dispone además de lo indicado por los lechos bacterianos, de la posibilidad de modificar la velocidad del biodisco, lo cual introduce una nueva acción interventora, con la que se puede; regular el espesor de la película de biomasa, modificar la capacidad de aporte de oxígeno y el tiempo de contacto.

Pero son los procesos, ya relacionados, de Fangos Activos los que alcanzando mejores resultados y rendimientos de depuración, son más susceptibles de ser operados de forma muy diversa y son objeto de la intervención del operador que dispone de muchas herramientas para optimizar el sistema.

El proceso de fangos activos se basa en el cultivo de una biomasa en un depósito dotado de una agitación adecuada para poner en contacto la misma con la materia orgánica disuelta y coloidal y de una aportación de oxígeno que asegure unas condiciones aerobias. Normalmente, el dispositivo de agitación es el mismo que se utiliza para oxigenar.

El sistema general del cual derivan con mayores o menores variaciones un sinnúmero de procesos es controlado por el explotador manipulando los siguientes parámetros:

- \* Edad del fango.
- \* Aporte de oxígeno.
- \* Tasas de recirculación.

La edad del fango, entendiéndose por tal la expresada por la fórmula:

$$\text{Edad del fango} = \frac{\text{Kg. de biomasa}}{\text{Kg. de biomasa purgados/día } Q_p \times C_p} = \frac{V \times \text{MLSS}}{Q_p \times C_p}$$

**V** = volumen ; **Q<sub>p</sub>** = Caudal de fangos purgados en m<sup>3</sup>/día

**MLSS** = Sólidos en suspensión del licor mezcla en mg/l

**C<sub>p</sub>** = Concentración de La purga en mg./l.

es el arma más potente de las que dispone el explotador, con ella controla la tasa de crecimiento de los microorganismos, que le permite efectuar un proceso selectivo de los mismos en áreas de una mayor calidad de la depuración.

El oxígeno, como factor necesario para el desarrollo de una fauna aerobia, permite modificar las condiciones ambientales en beneficio de determinadas especies, sin olvidar la necesidad de disponer de un medio aerobio.

La tasa de recirculación controla los tiempos de los que disponen los microorganismos para asimilar y digerir el sustrato, así como el tiempo en que se encuentra en condiciones anóxicas (tiempo de permanencia de los decantadores secundarios o clarificadores).

### **Espesamiento de Fangos**

Las acciones que deben ser tenidas en cuenta son aquellas que permiten que se alcancen los objetivos de concentración previstos en el funcionamiento de estos procesos.

Así en el espesamiento por gravedad, el caudal de entrada y su concentración y las purgas realizadas en el fondo del espesador generan las condiciones adecuadas para operar el proceso.

La decisión de hacer funcionar en continuo o discontinuo (en forma del llamado “batch”) este sistema, es una opción, asimismo, de proceso.

En Flotación por aire disuelto (concentración de fangos biológicos), aparte del caudal y concentración de entrada, hay que tener en cuenta la relación Aire incorporado - Carga de fangos y la tasa de circulación del agua aireada y presurizada.

### **Digestión de Fangos**

La estabilización aeróbica requiere acciones sobre:

- Concentración de fangos en la cuba.
- Condiciones aeróbicas y de agitación y homogenización.
- Purgas para asegurar tiempos de retención.

La digestión anaeróbica, proceso más económico de explotación y que incluso puede producir un fuerte ahorro energético, es más compleja requiriendo acciones sobre:

- Concentración de fangos en el digestor primario y secundario.
- Carga de fangos frescos (frecuencia y volumen) incorporando el adecuado volumen de volátiles.
- Agitación.
- Recirculación de fangos, previa calefacción de los mismos.
- Mantenimiento de la temperatura de los fangos.
- Mantenimiento de los parámetros “ácidos volátiles” y “alcalinidad”.
- Purga de fangos.

### **Deshidratación de Fangos**

El objetivo del proceso es conseguir el secado más efectivo de los fangos, para su transporte y evacuación o disposición posterior, al mínimo coste.

Por ello las acciones a tener en cuenta son:

- Dosificación de reactivos.
- Optimización de la floculación o acondicionamiento de los fangos para permitir su deshidratación.
- Optimización de la sequedad alcanzada a través de la velocidad de filtración, presión de la misma, etc.

En cada tipo de maquinaria o sistema empleado las acciones pueden diferir (Centrifugación, Filtración al vacío, Filtro prensa, Filtro banda, etc...).

### **3.4.2. Problemática real de los procesos**

Muchos y muy diversos son los problemas de funcionamiento de una E.D.A.R. de aquí su extremada dificultad de operación. Se pueden agrupar según dependan de:

- Características (cambiantes) del agua residual.
- Causas de diseño (de proceso y de equipamiento).
- Causas de operación (toma inadecuada de decisiones, errores en el posicionamiento de los parámetros, etc...).

En particular los procesos biológicos son ciertamente sensibles a las causas externas y sus tiempos de reacción (inercia de puesta a punto) son largos.

Para acometer el estudio de los problemas de la explotación, efectuar el diagnóstico oportuno y decidir las acciones correctoras a emprender se debe establecer una sistemática basada en la siguiente metodología:

- Analizar los parámetros de trabajo de la instalación (diseño, explotación), efectuando un diagnóstico.
- Estudiar las causas funcionales.
- Estudiar las causas del propio proceso (operacionales).
- Estudiar las causas provenientes de las características de la calidad del agua bruta.

La práctica de ha demostrado que antes de imputar al proceso el origen del problema es conveniente eliminar las causas debidas a posibles errores (o inadaptaciones) de diseño tales como:

- Velocidades ascensionales (cargas superficiales) altas.
- Cargas hidráulicas sobre vertederos inadecuados.
- Velocidades de puentes inadecuadas.
- Campanas deflectoras mal diseñadas.
- Presencia de corrientes de convección, efecto “pared”, etc.
- Dimensionamiento mal establecido.
- Etc.

Pasemos rápida revista a las causas más típicas del mal funcionamiento de los diferentes procesos:

### **PRETRATAMIENTO**

Los problemas más normales vienen generados por la presencia de elementos extraños en la red de saneamiento:

- Presencia de materiales muy gruesos (tablones, madejas de tejidos textiles, escombros, etc.).
- Incorporación de arenas, particularmente en momentos de fuerte avenida (tormentas).
- Presencia de grasa y flotantes en fuertes cantidades.

La técnica de construcción de E.D.A.R. ha ido cambiando y en los últimos años se diseñan de una forma más robusta, conservadora y con mayor capacidad estos sistemas.

## **TRATAMIENTO PRIMARIO**

Salvo por problema de diseño (proceso y mecánico) la decantación primaria no es un sistema unitario que presente graves problemas.

## **TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

Por ser el sistema de Fangos Activos el más comúnmente utilizado, relacionamos a continuación los problemas de este proceso.

### **\* *Fangos activos***

Los problemas más comunes en este tipo de instalaciones son:

#### *1. Espumas.*

Las espumas son un síntoma de desequilibrio funcional de las balsas, y su presencia es frecuente en la puesta en marcha, eso no quiere decir que, aunque inevitables, su control no sea posible, de hecho una buena puesta en marcha no producirá en ningún momento desbordamientos de las balsas por espumas. Un control exhaustivo del oxígeno disuelto, manteniéndolo próximo, pero por debajo, a 2 mg./l. y un aumento de los MLSS, reducirán el problema de espumas a un simple ejercicio de control y vigilancia.

Muchas veces, la formación de espumas es imputable a la proliferación de microorganismos filamentosos que crean una fuerte tensión superficial (véase anejo).

## *2. Levantamiento de fangos*

El levantamiento de fangos es una de las enfermedades más comunes, y ha sido objeto de numerosa bibliografía que, aparentemente, daban soluciones contrarias al mismo problema. Evidentemente cada instalación es única y, por tanto, lo que vale para una no es válido para otra, pues los parámetros que rigen el proceso son alterados de formas diferentes.

La edad del fango tiene una influencia muy marcada en cuanto a la flotabilidad de los fangos; una “edad baja” potencia la aparición de organismos filamentosos, con relaciones de densidad baja y alta tendencia a flotar, pero que, por contra, suelen ser microorganismos depuradores de alto rendimiento. Por otra parte, cuanto más “viejo” es el fango, los microorganismos que lo componen tienden a pesar menos por diversos factores, tales como endogénesis, etc. Es claro que muchos de los problemas de levantamiento de fangos están producidos simplemente por edades del fango inadecuadas, bien por proliferación de filamentosos (edades bajas) o por envejecimiento (edades altas); en el primer caso es sintomática la creación de costras en los clarificadores o decantadores secundarios, y en el segundo, un cambio sustantivo del color del fango, pasando del marrón claro a un marrón oscuro, casi negro. La simple modificación de la edad de los fangos sería la solución a problemas de levantamiento de fangos producidos por estas causas.

Procesos de nitrificación-desnitrificación producen también una serie de condiciones de levantamiento de fangos (por arrastre de fangos por el nitrógeno gas desprendido).

Otro aspecto a tener en cuenta son los tiempos de retención hidráulica en el reactor biológico. Con frecuencia, y por razones económicas, estos tiempos han ido reduciéndose a fin de ocupar menos superficie construida. Las fases por las que pasa el proceso de asimilación de sustrato por los microorganismos (transporte, absorción, predigestión, permeación y metabolismo) requieren unos tiempos mínimos, de no producirse originarán fangos “inmaduros” que necesitan una estabilización encaminada a potenciar su sedimentabilidad. Con mayor frecuencia, la flexibilidad de la E.D.A.R. no permite dicha estabilización, produciéndose un levantamiento de fangos de difícil solución.

El aporte de oxígeno puede, en determinados casos, ser un arma potente frente a la proliferación de filamentos si las variaciones en la edad del fango no han dado resultados satisfactorios. Se comprende que al poder variar no sólo la tasa de crecimiento, sino la cantidad de oxígeno disponible, las condiciones posibles para hacer frente al levantamiento de fangos son amplias, sin embargo, no lo suficientemente potentes para la totalidad del espectro presentado.

En el caso del levantamiento del fango, el arma potente que actualmente ofrece el análisis microbiológico permite aplicar esta técnica con rendimientos cuanto menos satisfactorios. (Véase anejo).

### *3. Lavado de las balsas*

El lavado de las balsas puede estar originado; por un descanso cualitativo, pero no cuantitativo, del agua bruta durante un período de tiempo amplio, por mantener durante períodos no muy amplios (5 ó 6 horas) el tope hidráulico de la instalación, por crecimiento de la cama de fangos en los clarificadores o por levantamiento de fangos.

Si se observa un descenso en la calidad del agua bruta (fines de semana, época estival, etc...) durante los períodos amplios, conviene adaptar los parámetros del

proceso a las nuevas condiciones impuestas, si no queremos observar una caída de los MLSS por entrada en fase endógena.

El tope hidráulico de la instalación es, con frecuencia, establecido en función de la hipótesis de que se alcanzará excepcionalmente y con escasa duración, desgraciadamente las condiciones reales superan ampliamente los tiempos máximos considerados para evitar daños al proceso. Es, pues, necesario adoptar medidas correctoras temporales, bien manteniendo una línea en condiciones de caudal medio, bien disminuyendo el caudal de recirculación o bien disminuyendo el caudal de recirculación o bien parando la purga de fangos biológicos.

Al crecer la cama de fangos en el clarificador, el mismo entra en la zona superior de las líneas de corriente produciéndose el proceso conocido como “sifonamiento” que normalmente está motivado por una escasa recirculación, una edad de fango elevada o un aumento súbito y permanente del sustrato. En el primer caso un aumento de la recirculación descargará los clarificadores, disminuyendo la cama de fangos. Una edad del fango elevada viene acompañada de una colaboración negruzca del fango que se solucionará disminuyendo la edad del mismo. En el último caso se debe adaptar el proceso a las nuevas condiciones de funcionamiento.

#### *4. Digestión Anaeróbica.*

Los problemas más frecuentes son:

- Acidificación del digestor (por mala operación o defecto en la alimentación del fango).
- Formación de espumas (que llegan a producir serios problemas en las conducciones de gas, atascándolas).
- Generación de “costra” sobrenadante (debido a una escasez de los sistemas de tamizado).

### 5. Deshidratación

Los problemas más usuales ocasionan un exceso de consumo de reactivo o un mal rendimiento de eliminación de agua. Son debidos a un deficiente control, mala selección de los reactivos y errores de operación, todos ellos fácilmente superables.

#### 3.4.3. Reducción de impactos ambientales

Lógicamente, en una E.D.A.R. como instalación correctora de contaminación o como, en expresión afortunada, alguien ha denominado; “herramienta ecológica”, el explotador ha de ser sensible a la reducción de los posibles impactos ambientales.

Los problemas que una E.D.A.R. genera sobre el ambiente circundantes son:

- \* Olores
- \* Ruidos
- \* Posible generación o concentración de insectos (moscas, mosquitos).

si olvidamos la posible, y no prevista, contaminación del cauce hidráulico receptor en caso de mal funcionamiento de la instalación.

Los olores son, principalmente, producidos en los sistemas de almacenamiento de fango (particularmente si es fresco) y residuos.

Los ruidos proceden de la maquinaria de mayor potencia (aireadores) instalada en la planta.

La falta de limpieza y el almacenamiento inadecuado de residuos puede favorecer la proliferación de insectos.

La corrección de dichos puntos de generación de impactos debe ser objeto de extremado cuidado.

Así el empleo de equipos de desodorización (lavados con sosa del aire con trazas de productos malolientes, empleo de filtros de carbón activo) en las áreas de posible

generación de olores, el uso de cal viva o desinfectantes sobre las masas de detritus y basuras extraídas, evitarán o reducirán los impactos citados.

#### 3.4.4. Control de procesos, control de rendimientos y calidades

Siguiendo el proceso convencional de tratamiento de una E.D.A.R., podemos relacionar los distintos parámetros de control que sirven para efectuar una adecuada explotación.

Fijémonos en el gráfico adjunto. De manera esquemática podemos encontrar todos los parámetros de control que pueden considerarse como convencionales.

Una clasificación de los citados parámetros se puede resumir en:

μ Parámetros de Calidad de agua y fangos.

- Generalmente medidos en laboratorio (alguno en campo con instrumentación adecuada).
- Medidos o evaluados por el operador “in situ”.
- Medidos por el laboratorio (Químicos y Biológicos).
- Calculados (mediante formulación matemática).

Los parámetros en relación con la Calidad y que son normalmente medidos en laboratorio son:

μ Línea de Agua

- Materia orgánica
  - \* DBO<sub>5</sub>
  - \* DQO
- Sólidos
  - \* Sedimentales
  - \* Totales
  - \* Retenidos por filtración (Sol. en Suspensión propiamente dichos)

- Nutrientes
  - \* Fósforo (Orgánico, Fosfatos, Ortofosfatos)
  - \* Nitrógeno (Total, Amoniacal, Nitritos, Nitratos, Orgánico)

- Detergentes
- Aceites y Grasas
- Metales pesados
- Tóxicos
- pH

μ Línea de Fangos

- Contenido en Volátiles
- Concentración o sequedad
- pH
- Contenido en Metales Pesados
- Caracterización para aplicación agrícola (parámetros agronómicos)

Entre los parámetros de control de procesos tenemos:

μ Medidos directamente por instrumentos

- Caudales (agua, fango y gas)
- pH
- Conductividad y Turbidez (índices indirectos de calidad)
- Oxígeno disuelto
- Niveles del “manto” de fangos
- Concentración de fangos
- Riqueza de gas de digestión (contenido en metano)

μ Medidos por laboratorio

- Concentración de fangos (y contenido en volátiles)
  - I V F
  - MLSS y MLVSS
  - Tasa de respiración endógena
  - Curvas de sedimentación
  - Observación microscópica de la masa del fango
  - Ácidos volátiles y Alcalinidad de fangos anaerobio
  - C T S (Capilar Suction Time) o ensayos de filtrabilidad de fangos
- μ Medidos o evaluados por el operador “in situ”
- V F -30
  - Oxígeno disuelto
  - pH
  - Turbidez (Con instrumento portátil o Disco Sechi)
- μ Calculados
- Carga másica y volúmica
  - Edad del Fango
  - Cantidad de fangos purgados
  - Cargas superficiales (velocidades ascensionales)
  - Cargas sobre vertederos
  - Rendimientos de depuración

El control definido es la base necesaria para efectuar un seguimiento racional del proceso de depuración.

El objetivo de la depuración, desde un punto de vista técnico, es el de tratar el agua hasta alcanzar los valores exigidos de los parámetros que identifican la calidad del agua, así como la estabilización de los fangos obtenidos.

La calidad obtenida vendrá dada por la efectividad de los tratamientos por los que sucesivamente pasa el agua, y en especial por el mantenimiento de un cultivo adecuado para la oxidación biológica de los componentes orgánicos del agua residual.

Los valores tomados “in situ” por el operador o los establecidos tras el control analítico requieren una toma de muestras adecuada, en lugar y periodicidad, con el fin de alcanzar la representatividad de los datos y su fiabilidad.

Ciertamente la analítica no es el objetivo de la depuración sino la herramienta técnica que ayuda a la toma de decisiones de proceso y a la verificación de los rendimientos.

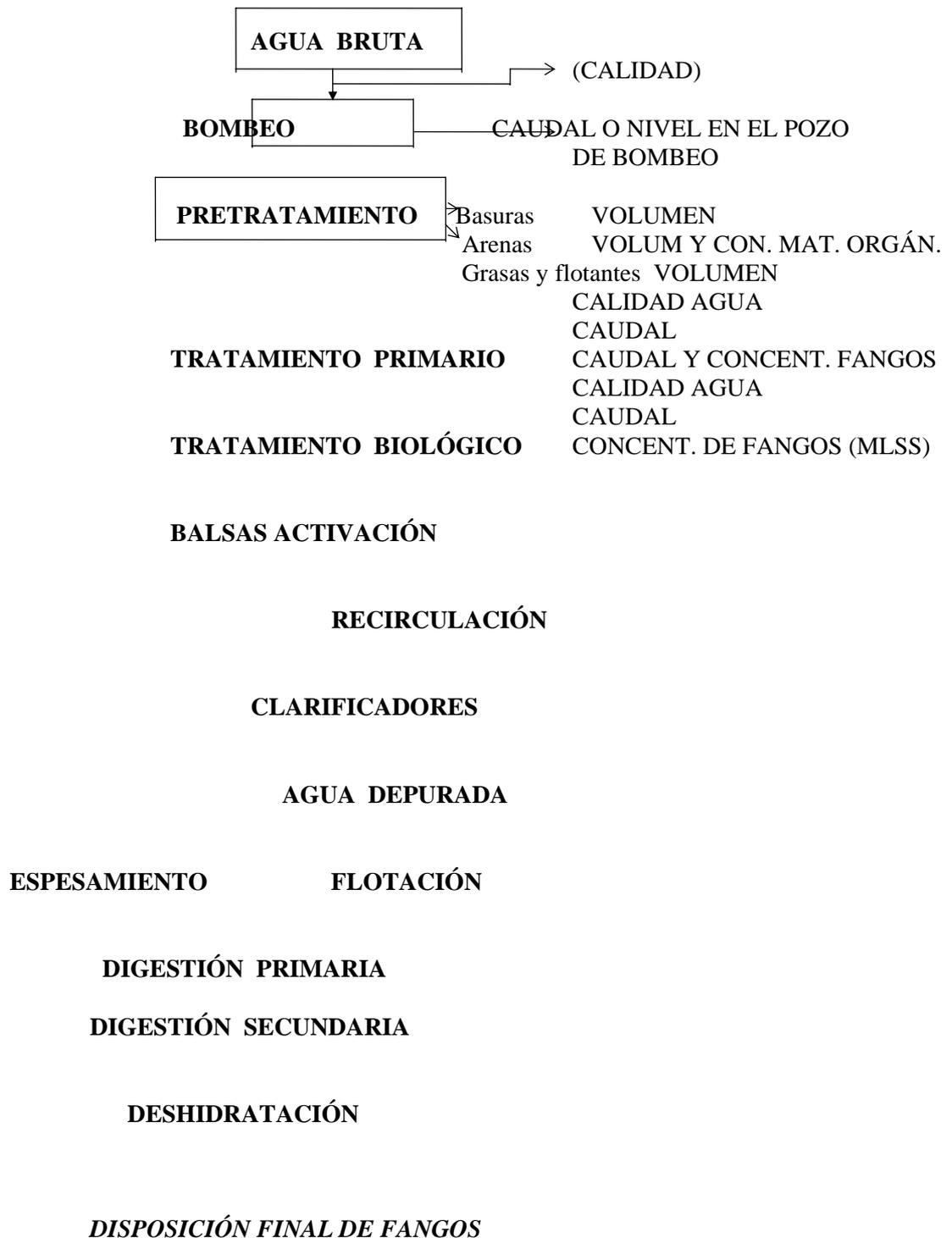
Hoy en día, el avance de la instrumentalización de campo ha ido relegando algunos análisis necesarios y se vislumbra un futuro de grandes cambios.

No obstante tanto la técnica química de laboratorio como, la menos utilizada (no por ello menos importante) del control biológico son poderosos aliados del explotador.

Algunas consideraciones deben efectuarse sobre el control biológico (microscopia de los fangos activos o de los microorganismos encargados de la depuración).

Recomendamos la lectura del anejo adjunto.

## **ESQUEMA OPERATIVO DE UNA E.D.A.R Y PARÁMETROS DE CONTROL**



### 3.4.5. Modelos de simulación

El desarrollo de los ordenadores en las últimas décadas y la modelización matemática compleja, pero que puede ser desarrollada (como simulación) en dichos aparatos, ha venido en ayuda de los explotadores de las E.D.A.R.

Un modelo matemático trata de explicar los complejos fenómenos que tienen lugar en un proceso que se desarrolla en la naturaleza, basándose en las funciones causa-efecto que han sido parametrizadas, reduciéndolas a unas formulaciones (ecuaciones) que se adaptan con poco margen de error a los experimentos realizados.

En orden a resolver muchos problemas de diseño en los procesos biológicos ha sido preciso profundizar en la dependencia que la calidad del agua tratada (depurada) tiene respecto a; la contaminación de entrada ( $L_0$ ), la concentración de microorganismos ( $B$ ), el tiempo de retención en el reactor ( $T = V/q$ , donde  $V$  es el volumen del reactor y  $q$  el caudal residual) y la temperatura ( $t^0$ ).

$$L_e = f(L_0, B, T, t^0, \dots, \alpha_1, \dots, \alpha_n)$$

Como la biomasa crece durante el proceso de depuración y es purgada del sistema, es preciso determinar la función de su variación.

$$\Delta B = \psi(L_0, B, T, t^0, \dots, \beta_1, \dots, \beta_n)$$

La expresión del oxígeno requerido durante el proceso de tratamiento será:

$$\Delta O_2 = \psi(L_0, B, T, t^0, \dots, \chi_1, \dots, \chi_n)$$

Los coeficientes  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  y  $\chi_i$  son determinados por experimentación. Estas funciones, obtenidas de forma empírica, representan las relaciones entrada-salida y su como "cajas-negras" del sistema. No obstante la aproximación científica ha permitido ir alcanzando el conocimiento de estas funciones, para que pudieran universalizarse y ser aplicadas a otros sistemas.

El tratamiento biológico ha sido modelizado partiendo de los desarrollos de la tecnología química. Así el primer modelo (Primer Orden) utilizado fue el propuesto por Eckenfelder en 1967.

En el anejo se expone el desarrollo simplificado de este modelo, todavía hoy muy utilizado.

Muchos otros modelos, con mayor grado de aproximación, están siendo estudiados (se relacionan en la tabla adjunta ) y son de aplicación práctica, incluso actualmente se estudian modelos dinámicos (de mayor complejidad que los estacionarios) y el futuro pasará, sin duda, por la utilización de “sistemas expertos” que aprenderán por sí solos en función del comportamiento real de los procesos.

Los modelos estacionarios están siendo utilizados a través de programas comerciales, tanto para el aprendizaje del proceso biológico, como para la simulación del mismo, con el objeto de facilitar la toma de decisiones del operador.

La simulación, ejecutada en segundo, de procesos que requerirán días de funcionamiento, permite, a través del sistema prueba-error, acercarse a la seguridad de minimizar fallos en las operaciones del proceso.

**Tabla 2.1. Algunos modelos para el diseño de corrientes continuas de reactores**

Modelo (1)	Fórmula de oxidación (2)	Ecuaciones para el rendimiento de concentración de sustratos	
		Reactor completo-mixto (3)	Reactor de conexión (4)
1. Orden cero	$k_0 B$	$L_e = L_0 - a$	$L_e = L_0 - a$
2. Orden primero	$k_1 B L$	$L_0 = L_0 / (1+a)$	$L_e = L_0 e^{-a}$
3. N-th-orden	$k_n B L^n$	$(L_0 - L_e) / L_e^n - a = 0$	$L_e = L_0^{1-n} - a (1-n) L_0^{1/(n-1)}$
4. Monod	$k_v B L / (k_1 + L)$	$L_e = P + (P^2 + k_L L_0)^{1/2}$ $P = (L_0 - k_L^{-2})^{1/2}$	$L_e - L_0 - k_L \ln L_0 / L_e - a = 0$
5. Moser	$\frac{k_v B (L/L_k)^n}{1 + (L/L_k)^n}$	$\frac{(L_0 - L_e) [1 + (L_0/L_k)^n]}{(L_e/L_k)^n} - a = 0$	$\frac{L_k}{1-n} \left[ \frac{(L_0)^{1-n} - (L_e)^{1-n}}{L_k} \right] + L_0 - L_e - a = 0$
6. Modified Moser	$\frac{k_v B (L/L_k)^n}{1 + (L/L_k)^m}$	$\frac{(L_0 - L_e) (k_L + L_e^{2/k} L_0)}{(L_e/L_k)^n} - a = 0$	$\frac{1-n}{1-n+m} \left[ \frac{(L_0)^{1-n+m} - (L_e)^{1-n+m}}{L_k} \right] + \frac{(L_0)^{1-n}}{L_k} + \frac{(L_e)^{1-n}}{L_k} - \frac{1(1-n)}{L_k} = 0$
7. Haldane	$\frac{k_v B L}{k_L + L + L^2/k_1}$	$\frac{(L_0 - L_e) (k_L + L_e^{2/k} L_0)}{L_e} - a = 0$	$(L_0 - L_e) \left( 1 + \frac{L_0 - L_e}{2k_1} \right) + k_L \ln \frac{L_0}{L_e} - a = 0$
8. Yerasalimsky	$\frac{k_v B L}{(k_L + L) (k_B + B)}$	$L_e = P + (P^2 + k_L L_0)^{1/2}$ $P = (L_0 - k_L - \frac{a}{k_B + B})^{1/2}$	$L_0 - L_e + k_L \ln L_0 / L_e - a (k_B + B) = 0$
9. Teissier	$k_v B (1 - e^{-L/L_k})$	$(L_0 - L_e) (1 - e^{-L/L_k}) - a = 0$	$L_e = L_k \ln [1 + (e^{L_0/L_k} k - 1) e^{-a/L_k}]$
10. Contols	$k_v B L / (k_L B + L)$	$L_e = P + (p^2 + k_L B L_0)$ $P = (L_0 - k_L B - a)^{1/2}$	$L_0 - L_e + k_L B \ln L_0 / L_e - a = 0$

Nota :  $L_0$  = concentración aportada de contaminante;  $B$  = concentración de microorganismos

$T$  = tiempo de retención de aguas residuales en el reactor;  $a = kBT$

### 3.5. TÉCNICAS DE GESTIÓN INDUSTRIAL

Dos técnicas básicas han de ser tenidas en cuenta a la hora de explotar una E.D.A.R., el mantenimiento y la conservación de las instalaciones y el control de costes (como técnica empresarial de minimización de costes).

#### 3.5.1. Mantenimiento. Generalidades

##### 3.5.1.1. Generalidades

En una Estación Depuradora de Aguas Residuales, como en cualquier otra planta industrial, la función de mantenimiento es necesaria para conseguir una adecuada explotación de las instalaciones.

Se denomina mantenimiento a la serie de actividades laborales que se llevan a cabo para conseguir que el funcionamiento de los equipos y obra fija sea el más idóneo y contribuya al objetivo para el cual la instalación ha sido concebida, y la duración o vida útil de aquellos sea la más larga posible.

Dos de los factores que mejor califican la eficiencia de la explotación de una E.D.A.R. son:

- Rendimiento
- Factor de utilización

El primero mide la “bondad” de la instalación y su explotación para eliminar la carga contaminante que lleva el agua residual.

El factor de utilización mide el tiempo relativo durante el cual la instalación ha estado funcionando.

El mantenimiento afecta a los dos citados factores y debe permitir que ambos sean los máximos posibles.

Con ser importantísimas, sin embargo las labores de mantenimiento tienen una dependencia directa de la operación de la planta depuradora y deben estar supeditadas siempre a conseguir el objetivo básico para el cual la planta ha sido diseñada, construida y explotada: el depurar las aguas residuales con el fin de evitar los impactos ambientales en los cauces a donde es vertida.

Así pues, el conseguir mantener el funcionamiento continuo de una instalación durante períodos de tiempo lo más dilatados posibles y en las condiciones más cercanas a las nominales, en lucha continua contra el desgaste, envejecimiento y deterioro de los elementos, en condiciones económicas tales que los costos de esa actividad sean los menores posibles, es el objetivo máximo del mantenimiento.

### 3.5.1.2. Operaciones Básicas del Mantenimiento

Todas las actividades que se realizan en el ejercicio del mantenimiento de una E.D.A.R. se pueden resumir en los siguientes conceptos:

#### Limpieza

Una importante parte de los recursos de la actividad de mantenimiento son destinados a mantener en adecuado estado de limpieza los equipos, elementos y dependencias de que dispone una depuradora.

Al tratarse de una actividad básicamente “sucia”, el conseguir combatir esta característica es esencial.

#### Engrase y cambios de aceite

La mayor parte de los equipos mecánicos precisan para funcionar, engrase u lubricación, ya que de otra manera el desgaste producido en las diferentes partes móviles llevaría a la rotura de la maquinaria.

#### Reparación o sustitución de elementos deteriorados

No todas las piezas de una máquina están sometidas a los mismos esfuerzos y algunas piezas críticas tienen una vida útil relativamente corta, siendo necesaria su sustitución o reposición para evitar la parada de la unidad o el deterioro irreversible.

### **Protección anticorrosiva**

El ambiente en el cual están inmersos los diferentes elementos de que consta la una Estación Depuradora es francamente corrosivo. La existencia de agua, que produce condensaciones, humedades, junto con posibles compuestos contaminantes de tipo corrosivo, además de la presencia de gases como el sulfhídrico, etc., pueden producir ataques a los elementos metálicos y su posterior inhabilitación por corrosión.

El proteger los diferentes elementos de una instalación mediante pinturas y otras técnicas de aislamientos, permite aumentar su vida útil y evitar gastos de sustitución de los citados elementos. Esta es una actividad que consume bastantes recursos económicos de la actividad de mantenimiento.

#### **3.5.1.3. Tipos de Mantenimiento**

De manera al menos teórica, se pueden clasificar las diferentes estrategias de mantenimiento en los siguientes tipos:

#### **Mantenimiento por averías( ó Correctivo)**

Es el sistema más sencillo y rudimentario. Consiste en la reparación de los elementos deteriorados una vez hay surgido la avería.

Es el sistema más idóneo y económico para las plantas depuradoras pequeñas (menos de 20.000 habitantes equivalentes), o en aquellas instalaciones dotadas de adecuados equipos de reserva.

#### **Mantenimiento Preventivo**

Es un sistema más elaborado y que necesita una estructura organizada y técnica importante. En general es un sistema caro y complejo, sobre todo en el subsistema de “preventivo programado”, en el cual se efectúan complejas revisiones de los equipos cuando así se hubiera programado.

### **Mantenimiento Predictivo**

Requiere una especialización técnica muy importante, así como la utilización de instrumentos complejos y especializados. Se basa en predecir las posibilidades futuras de deficiencias de un equipo en base al análisis de sus constantes mecánicas, ruidos, vibraciones, velocidad, etc.

Puede llegar a ser el sistema de mantenimiento más económico, pero requiere una larga e importante experiencia, así como una herramienta y utillaje muy sofisticados.

### **Mantenimiento correctivo (o mejorativo)**

Aunque los otros tres tipos estarían ordenados en escala creciente de complejidad, el sistema de mantenimiento CORRECTIVO puede aplicarse como complemento de cualquiera de los anteriores.

Consiste básicamente en corregir las deficiencias que, por diseño o construcción, pueden manifestarse en ciertos elementos. Así puede sustituirse una cierta pieza por otra construida en un material que tenga mejores características frente a la abrasión, cambiar un cojinete por otro que soporte mayores esfuerzos, etc.

Se trata, pues, de corregir ciertos elementos, que algunas veces no han sido diseñados específicamente para el manejo de aguas residuales, fangos, etc. y que, por lo tanto presentan deficiencias por su inadecuada adaptación al servicio que prestan.

Muchas veces se complementan e incluso se solapan los diferentes tipos de mantenimiento, particularmente en las grandes depuradoras, por lo que esta clasificación obedece más a criterios académicos que prácticos.

#### **3.5.1.4. Organización de la actividad de mantenimiento**

En los gráficos adjuntos se esquematiza la organización de la actividad de mantenimiento, tanto en grandes plantas como en pequeñas depuradoras, se puede decir que cualquiera sea el tamaño y complejidad de una E.D.A.R., la organización encargada del mantenimiento consta de:

◦ Equipo humano, que dispone a su vez de las dos siguientes facilidades:

- Maquinaria y herramientas.
- Almacén de repuestos.

cuya importancia y magnitud estará en consonancia con la mencionada complejidad de la instalación.

La creciente complejidad de las instalaciones de depuración exigen la especialización del trabajo de mantenimiento.

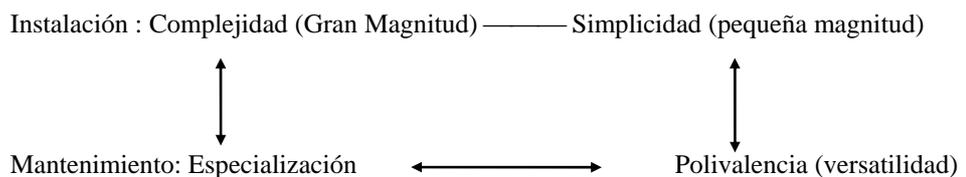
En plantas de tamaño grande, o de gran sofisticación se impone la especialización sectorial, que en su mayor grado puede segregarse en:

- ◆ Mantenimiento de Obra Civil (Obra fija, urbanización , edificación).
- ◆ Mantenimiento Mecánico (Calderería y mecánica).
- ◆ Mantenimiento Eléctrico (Alta y Baja Tensión).
- ◆ Mantenimiento de Instrumentación y Automatismos electrónicos.

Ciertamente en instalaciones pequeñas, medianas o simples se impone, por el contrario, una organización con una fuerte dosis de polivalencia aún a pesar de contar con un menor grado de cualificación muy especializada.

Así se habla de Mantenimiento Electro-mecánico, o en el caso más simple el propio operador de E.D.A.R. realiza el mantenimiento básico y mínimo.

Es pues importante el doble binomio.



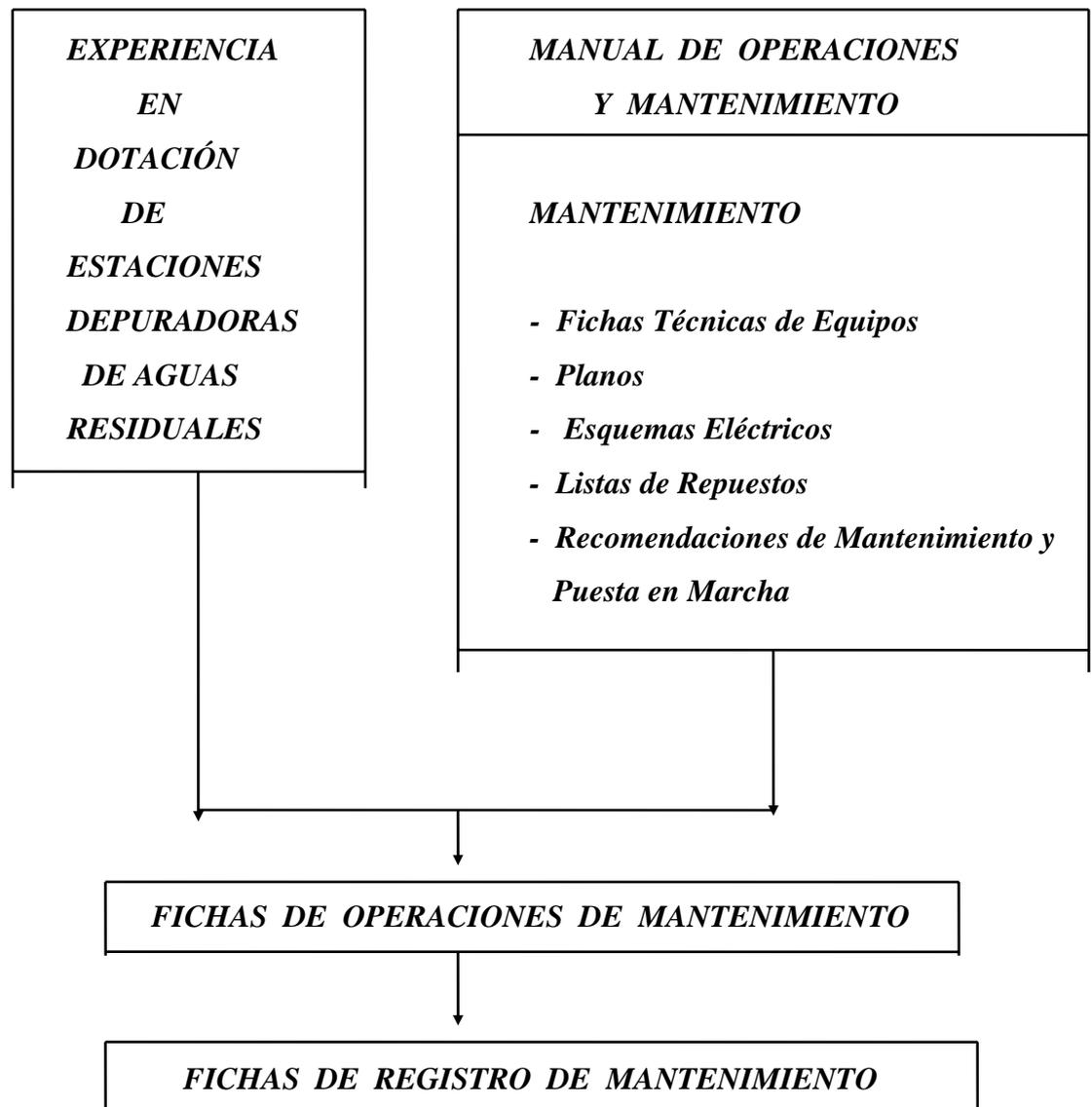
### 3.5.1.5. Procedimiento de registro y control

Cualquiera que sea el tipo de mantenimiento elegido para explotar una depuradora, es conveniente llevar un control de las actividades que se realizan con el fin de dejar constancia de la experiencia acumulada y tener criterios objetivos para el control económico de la actividad.

Básicamente, en el inicio de la vida de una instalación para el tratamiento y depuración de aguas residuales, el propio proyectista o constructor de la planta debe encargarse de redactar un **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**, en donde se resumen todas las características técnicas de los diferentes equipos y elementos, al cual se suele incorporar la documentación técnica de los fabricantes de los equipos mecánicos. El perfecto conocimiento de este documento, junto con la experiencia de las empresas especializadas o de los profesionales del sector encargados de las actividades de mantenimiento, que lo complementen o lo revisen de manera crítica, permitirán crear una documentación ordenada y operativa, formada por los siguientes elementos:

- Fichas de operaciones de mantenimiento.- Son una guía de las actividades a realizar siendo imprescindibles cuando se trata de mantenimiento preventivo.
  
- Fichas de registro de mantenimiento.- Permiten crear un archivo histórico de la vida de los diferentes equipos.

En las plantas pequeñas o en las explotadas con un sistema de mantenimiento del tipo “POR AVERÍAS”, las primeras fichas no son estrictamente necesarias, por lo que muchas veces existe solo un libro de registro de operación y mantenimiento, junto con una cartilla o agenda recordatoria de las actividades rutinarias más importantes que son necesario realizar. En los gráficos adjuntos, se detalla el contenido y forma de rellenar dichas fichas, mediante un ejemplo práctico.







Ciertamente la técnica industrial de optimización de costes debe ser utilizada para reducir los gastos directos de la explotación de E.D.A.R.

Centraremos nuestra exposición en uno de los principales conceptos de coste, cual es la energía eléctrica.

Por supuesto que el control del uso de reactivos, la reducción de los volúmenes de residuos obtenidos y la minoración de las horas-hombre-empleadas, también deben ser tenidas en cuenta por el explotador.

### 3.5.2.1. Ahorro energético

Basado en minimizar los costes de energía. Bien por ahorrar a través del ajuste de los requerimientos del proceso, optimización del uso de la maquinaria y su regulación y adecuada gestión de la contratación eléctrica.

Además de lo establecido en el Anejo que se incorpora a estas líneas, hay que tener presente:

- \* Se consigue hasta un 20% de ahorro energético si se mantienen limpios los difusores de aire.
- \* Un 10% de ahorro por optimización del control y regulación de la aireación
- \* Un 5% mejorando las prácticas rutinarias de mantenimiento y explotación.
- \* Cada exceso de 1 g./l. en la concentración de fangos activos superior a lo normal supone un consumo extra de 1 Kwh/h.e. y año.

Igual que cada incremento de 10% de la humedad de los lodos incorporados al digestor.

Recomendamos la lectura del anejo de “Consumo energético”, como ejercicio académico de interés para conocer las causas del consumo energético de un sistema de fangos activos.

### Recuperación energética

Cuando una E.D.A.R., de tamaño grande, está dotada de digestión anaerobia, el gas producido (con un alto contenido en metano) es posible utilizarlo para ahorrar energía en el interior de la instalación.

El tipo de aprovechamiento energético depende mucho del tamaño de la planta, pero básicamente puede ser aplicado para:

- Calefacción de edificios.
- Secado de fangos.
- Co-producción de energía eléctrica.

Este último es el más utilizado, aunque su rentabilidad no esté clara para capacidades de E.D.A.R. menores de 0,5 m<sup>3</sup>/sg. de caudal medio.(200.000 ó 250.000 hab.equiv.)

Unos datos permiten evaluar las ventajas de esta utilización:

- La cantidad de metano producida por día y media en m<sup>3</sup> es:

$$M \cong 30 (A - B) \times Q$$

A y B son las concentraciones en mg./l. de materia orgánica del agua de entrada y salida, respectivamente.

Q es el caudal medio de tratamiento de m<sup>3</sup>/día.

- La capacidad calorífica del gas es:  $E \cong 150 \times H$  Kcal/día  
siendo H el número de habitantes equivalentes.

- La potencia neta que se puede obtener mediante la utilización de motogeneradores es:  $E \cong 15 \times H$  Kwh./año

- La capacidad calorífica del biogas es de 5.200 kcal/m<sup>3</sup>.

### 3.6. SISTEMAS INFORMÁTICOS DE CAPTACIÓN, INTEGRACIÓN

## Y GESTIÓN DE DATOS

Las tareas básicas que un sistema automático (informático) debe efectuar son:

- Información y Supervisión de la marcha del proceso. Mediante captación de datos:
  - \* Señales Digitales (Marcha-Paro, Abierto-Cerrado, ON-OFF)
  - \* Variables Analógicas. Parámetros medidos por la instrumentación de modo continuo.
  - \* Datos incorporados, de forma discreta, por los operadores (valores de laboratorio, etc.).
  
- Alarmas de operación y funcionamiento. Informando al operador para que adopte las decisiones y medidas oportunas.
  
- Establecimiento de las rutinas automáticas adecuadas para el mundo de los procesos y sistemas (secuencias, datos de control).
  
- Archivo de datos y elaboración estadística de los mismos.
  
- Obtención de informes y registros históricos del funcionamiento de los procesos y los parámetros que los definen.
  
- Auxilio informático a las tareas de mantenimiento y explotación. (programas de mantenimiento, etc.)

Los equipos informáticos ayudan poderosamente en la ejecución de estas tareas y por ello son objeto, gracias a su universalización y empleo como herramienta técnica, de instalación en las E.D.A.R. recientemente construidas o remozadas.

Cada día en mayor medida corresponde al explotador el conocimiento de estos sistemas y su uso adecuado para optimizar y tecnificar la gestión.

### 3.7. SEGURIDAD Y SALUD LABORAL

Sin pretender más que presentar la problemática de la Seguridad y Salud Laboral en el trabajo de explotación de una E.D.A.R., estas líneas quieren poner de manifiesto que todo lo que se insista en este tema, es poco, ya que el contacto de los operadores con situaciones de peligro y los mayores costos que la adopción de medidas llevan consigo, traen como consecuencia desgraciada la existencia de accidentes.

Nuestra legislación es amplia y moderna y el desarrollo de esta tarea ha involucrado a todas las partes concernientes por lo que se ha mejorado sustancialmente en los últimos años.

En teoría, los elementos originadores del mayor peligro son:

- El gas de digestión.
- El Cloro Gas, utilizado para desinfección de las aguas.

No obstante la propia toma de conciencia de los trabajadores como las medidas preventivas tomadas hacen que estas causas se sitúen en los últimos lugares de la relación real de causas de siniestros.

En efecto según datos tomados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo la relación de riesgos detectados es, por orden de intensidad:

- Caída de personas a distinto o mismo nivel.
- Caída de personas al interior de instalaciones.
- Atrapamiento y golpes por órganos móviles.
- Contactos eléctricos.
- Contacto con sustancias corrosivas.
- Sobreesfuerzos físicos.
- Intoxicaciones y asfixias.

La práctica aconseja la ejecución de mejoras en la E.D.A.R. en explotación de manera que eviten el riesgo. Mejoras tales como; disposición de barandillas de protección,

carenado de piezas en movimiento, instalación de relés diferenciales para protección eléctrica, empleo de sistemas automáticos de preparación de reactivos y dosificación, colocación estratégica de salvavidas y flotadores, etc, son muy útiles para evitar dichos problemas.

El procedimiento exigible de que todas las actividades peligrosas sean realizadas por dos operarios asegura la reducción del riesgo del accidente grave.

Para prevenir los accidentes más comunes es preciso:

- Informar, formar y concienciar al personal.
  
- Exigir el cumplimiento de procedimientos de seguridad y del uso de material auxiliar adecuado. (empleo de cinturones, material antideflagrante, medidores de explosividad y máscaras de respiración autónoma, entre otros).
  
- Establecer comités de Seguridad y Salud.

#### 4. ANÁLISIS DE COSTES

##### 4.1. CONTROL ANALÍTICO DE COSTES

Una simplificación útil como la que vamos a exponer a continuación, obtenida por la aplicación de las técnicas de control de costes (contabilidad analítica aplicada a la producción), nos permite un análisis racional de la estructura de costes de explotación de una E.D.A.R.

En efecto, encontramos los siguientes costes derivados de las aplicaciones de los recursos:

- \* Humanos.
- \* Energía.
- \* Reactivos.
- \* Mantenimiento (Repuestos y Fungibles y Servicios Exteriores).
- \* Disposición de residuos (fangos y basuras).
- \* Control.
- \* Amortización de instalaciones.
- \* Gastos generales.

Pasemos, pues, revista a todos ellos, pero previamente analicemos la composición de costes de explotación de una E.D.A.R. completa. Todo ello nos dará un punto de referencia útil para obtener nuestro propósito.

Podemos fijarnos en el cuadro adjunto.

Confeccionado a través de datos correspondientes a E.D.A.R. de diferentes tamaños, con tratamiento físico-químico y biológico.

**PORCENTAJE DE DISTRIBUCIÓN DE COSTES DE EXPLOTACIÓN DE UNA E.D.A.R.****TAMAÑO E.D.A.R. (miles de habitantes equivalentes)**

<b>PARTIDAS DE COSTES</b>	<b>0 - 25</b>	<b>25 - 70</b>	<b>150 - 300</b>	<b>( *)</b>
Personal	34	30	28	30- 35
Energía	40	41	27	25-30
Reactivos	5	12	16	10-15
Mantenimiento	7	9	16	12-17
Retiradas residuos	2	2	11	5-11
Otros	12	6	2	2-6

( \*) Total para un sistema complejo con E.D.A.R. de diferentes tamaños.

Fuente: datos reales recopilados por el autor.

En resumen los costes de explotación, para un conjunto de plantas de diferentes tamaños que podríamos considerar representativa de las correspondientes a una provincia , se pueden considerar repartidos a partes iguales para los siguientes conceptos:

- Personal
- Energía
- Otros gastos

En cuanto a los costes por cada concepto presupuestario, podemos establecer:

**Costes de Personal**

En casi todos los sistemas de explotación o E.D.A.R., la organización se basa en cuatro áreas correspondientes a estas cuatro tareas:

- Explotación.
- Mantenimiento.

- Control y Laboratorio.
- Administración.

En una planta pequeña, todas estas áreas pueden caer bajo la responsabilidad de una sola persona que incluso atenderá a varias plantas. A medida que aumenta el tamaño las responsabilidades son repartidas o delegadas, de forma que para unidades de alrededor de 0,5 m<sup>3</sup>/s. de caudal nominal y mayores suelen existir verdaderos equipos dedicados en exclusiva a cada uno de los temas.

Un gran número de factores afecta al cálculo del número total de personas necesarias para llevar a efecto la explotación de una E.D.A.R., entre ellos:

- Disposición en planta de la Estación.
- Existencia de bombeo u otros equipamientos exteriores.
- Homogeneidad del proceso y normalización de los equipos.
- Nivel o grado de tratamiento.
- Vertidos industriales.
- Productividad.
- Cualificación del personal.
- Grado de automatización.
- Forma de llevar a cabo las tareas de mantenimiento.
- Edad y estado de la infraestructura y los equipos.

Por otra parte, el factor escala es muy importante de manera que según son las instalaciones más pequeñas, el coste relativo del personal va aumentando.

El trabajo de operación, así como el de mantenimiento, no es directamente proporcional al tamaño de la E.D.A.R. o el caudal tratado, ya que ciertamente es casi igual reparar una bomba, o cualquier otro equipo, de 40 C.V. que otra de 25 C.V. La vigilancia en tres turnos de trabajo resulta mucho más oneroso en instalaciones de pequeño tamaño, ya que la presencia humana (y por lo tanto su coste) es igualmente precisa.

Los costes de personal son suficientemente conocidos en cada área de nuestra geografía nacional como para tener que exponerlos en este documento y, lógicamente, están sujetos a las condiciones socioeconómicas de cada región.

Estos costes están sujetos a aumentos progresivos, porque no solamente quedan afectados por las reivindicaciones salariales de mantenimiento del poder adquisitivo sino, también, por la disminución de la jornada laboral y por la lógica sensibilización por el bienestar laboral y las medidas de seguridad e higiene, que puede obligar a duplicar personas en determinados puestos de trabajo, de fuerte responsabilidad o peligrosos.

Teniendo en cuenta las dotaciones necesaria y los valores de “coste de empresa” situados en el entorno de 10 a 15 Euros por hora (indicativos para el año 2005) se pueden establecer los costes de este capítulo.

\* Coste de Energía. Ya hemos citado que la participación de los costes energéticos es muy importante, está muy directamente relacionada con el agua tratada y más todavía con la carga orgánica reducida en la E.D.A.R., y aumenta proporcionalmente al tamaño de la planta.

La mayor fuente de consumo energético es el tratamiento biológico aerobio, tanto en la línea de agua como en la de fangos. Los ratios “típicos” de consumo global se centran en el entorno a:

0,25 - 0,35 Kwh/m<sup>3</sup> de agua depurada

20 - 30 Kwh/h.e. y año

1,1 - 1,3 Kwh/Kgr. de DBO<sub>5</sub> eliminada

En el año 2000, el Kw/h. industrial puede variar desde los 7 céntimos de Euro de coste en plantas de tamaño grande bien gestionadas, hasta los 12 céntimos en plantas medianas con menor control eléctrico. (Tarifas menos optimizadas).

Como puede apreciarse en el anterior ejemplo, el entorno de variación de los costes energéticos varia ampliamente, por lo que es necesario proceder a un estudio más detallado en cada caso particular de las condiciones de funcionamiento de una determinada E.D.A.R. (véase apartado “Ahorro energético”).

\* Coste reactivos. Los reactivos más normalmente utilizados en una E.D.A.R. son:

- Los Polielectrolitos o floculantes para deshidratación.
- Los coagulantes y coadyuvantes en caso de emplear tratamiento físico-químico.

El empleo de reactivos es proporcional al caudal tratado. Para la deshidratación es necesario el uso de cantidades próximas al entorno 3 a 6 Kg. de Polielectrolito catiónico de alto peso molecular por T de Materia Seca de fango producido.

Para el tratamiento Físico-Químico y en función de las dosificaciones (óptimas para reducir el 75% de materia orgánica) empleados; los costes por m<sup>3</sup> pueden oscilar entre 0,1, y 0,2 Euros/m<sup>3</sup> de agua tratada.

No obstante este coste se reduce casi en igual medida en el consumo energético ahorrado por esta reducción de materia orgánica.

\* Coste de mantenimiento. Es aceptado, en la literatura técnica que analiza estos aspectos, que los costes de mantenimiento se pueden valorar como un porcentaje del valor actualizado de la infraestructura.

Aunque hoy en día estos costes están incrementándose debido a razones de:

- Mayor tecnificación de la gestión de mantenimiento.
- Complejidad de los equipamientos electro-mecánicos.
- Incremento del equipamiento de control, instrumentación, gestión informatizada, etc.

consecuencia de la optimización en los costes directos (energía, etc) y de los rendimientos en la depuración de las aguas.

A pesar de la variabilidad de estos costes, existe acuerdo entre los expertos de cifrarlo entre valores porcentuales situados en el entorno 2 al 5% del valor de la infraestructura. Variación que se ajusta en cada caso particular, conociendo las instalaciones, la calidad de los materiales, la bondad del montaje, las protecciones, las reservas de equipamiento, etc.

\* Coste de transporte y disposición de residuos. Los elementos rechazados del agua, previa separación son:

- Basuras.
- Arenas.
- Grasas y flotantes.
- Fangos deshidratados (con sequedad entre 20 y 40%).

La carga, transporte y disposición final (vertedero para los tres primeros conceptos) origina unos costes nada despreciables.

Hoy en día es preciso tener en cuenta, ya a la hora del diseño de la E.D.A.R. la necesidad de evacuar los fangos de una manera segura y que no origine problemas medio-ambientales (por transferencia de la contaminación).

Ciertamente, al gestionar un servicio de explotación es necesario prever la eliminación de los fangos, tanto por razón de evitar el mayor “cuello de botella” del sistema, como por razones ecológicas.

La disposición en vertedero controlado específico, vertedero mixto con RSU, disposición agrícola y el vertido al mar (hoy cada día más en desuso e incluso en vías de prohibición) forman parte de la gestión de explotación de un sistema de saneamiento y como tal deben de ser integrados dentro de la misma.

\* Gastos de control. Los gastos de Dirección, Asistencia Técnica y Control por medio de Laboratorio (bien sea interno o externo a la E.D.A.R.). Suponen entre un 5 y un 7% de los costes totales directos (costes técnicos sin amortización).

\* Gastos Generales. En este concepto se agrupan una serie de gastos indirectos de pequeña cuantía, muy diferente, difíciles de imputar analíticamente, de compleja disgregación, que no suponen cifras por encima del 5% de los costes técnicos.

\* Amortización de instalaciones.

La amortización del capital de la primera inversión y el de renovación de la instalación, podría ser considerado como el mismo concepto, debido a que supondría amortizar la primera inversión en X años, para al final de los mismos tener el capital necesario para renovar toda la obra.

Para hacer un cálculo aproximado de la anualidad que puede suponer la renovación de las instalaciones de una depuradora de aguas residuales, hay que tener en cuenta además del coste de las mismas, la duración media de los distintos elementos.

Normalmente tras la puesta a punto inicial, todas las instalaciones funcionan correctamente, si se mantienen de una forma adecuada, con un mínimo gasto que podemos considerar como de conservación (piezas gastadas, aceites, pinturas, grasas, material eléctrico, etc). Después de este tiempo, pueden comenzar, en algunos equipos las reparaciones más costosas y llega el momento en que es más económico sustituir el elemento que repararlo.

Para concretar el coste medio de la renovación, repasaremos la duración media de los equipos de una Depuradora y su incidencia en el coste total.

<b>EQUIPOS</b>	<b>DURACIÓN</b>	<b>PARTICIPACIÓN EN COSTES TOTAL</b>
<b>ELEVACIÓN</b>	..... .....	2 - 4%
Tornillo de Arquímedes		4%
Motoreductor	7 a 10 años	
Tornillo	15 a 20 años	
Bombas de agua bruta	7 a 10 años	3,5%
<b>PRETRATAMIENTO</b>	..... .....	2 - 3%
Reja de limpieza automática		1%
Motor y barredera		
Reja	5 a 10 años 10 años	
Equipo de desarenado		1,5%
Aireación por soplante	5 a 7 años	
Bombas de extracción	2 a 5 años	
<b>TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO</b>	..... .....	3 - 3,5%
<b>TRATAMIENTO PRIMARIO</b>	..... .....	1,5 - 2%
Puente de rasquetas		5,5%
Motor		
Estructura	10 años	
Rasquetas	20 años 5 años	6,5% secundario
Bombas de fangos	5 a 10 años	
<b>TRATAMIENTO BIOLÓGICO</b>	..... .....	8%
Equipo de aireación por turbina		
Motoreductor		
Turbina	5 a 10 años 15 a 20 años	
Equipo de aireación por soplante		
Compresor		
Difusores de aire	7 a 10 años 10 años	
<b>TRATAMIENTO DE FANGOS</b>	..... .....	12 - 20%
Digestión		5%
Agitación		
Bombas de fango	10 años	
Calefacción	5 a 10 años 5 a 10 años	

Secado de fangos Bombas Secado mecánico	5 a 10 años 10 a 5 años	8%
<b>GENERALES</b>	.....	15 - 20%
Instalaciones eléctricas	.....	10 - 15%
Instalaciones mecánicas complementarias	15 años	1 - 3%
Instalaciones locales de control y personal	20 años	1 - 1,5%
Diversos	20 a 30 años	1 - 4%

De este cuadro se puede deducir:

La vida media de los equipos electromecánicos es de 5 a 15 años y de la obra civil de unos 20 - 25 años.

El coste de renovación de equipos puede calcularse como un coste anual de un 5 - 6% sobre el coste total de primera instalación.

El coste de renovación de la obra civil puede calcularse en un coste anual de un 2 - 3%.

Por tanto, la carga de amortización de la renovación de las instalaciones puede establecerse en un 5% sobre el coste actualizado de la primera instalación.

## 4.2. ESTRUCTURA FUNCIONAL DE COSTES

Desde el punto de vista de funcionamiento, se puede estudiar el coste de explotación de una E.D.A.R. siguiendo la línea de tratamiento:

	<i><u>Porcentaje de costes de cada proceso unitario sobre el total</u></i>
Elevación agua bruta	4 - 8%
Pretratamiento	9 - 11%
Tratamiento Primario (Con Físico-Químico)	5 - 7% (17 - 24%)
Tratamiento Biológico (Con Físico-Químico previo) .....	25 - 30% (9 - 14)
Estabilización. Digestión de Fangos	17 - 27%
Secado de Fangos	20 - 30%
Dirección y Control	5 - 7%
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>

Para ilustrar los datos aportados, se incluye curva indicativa de los costes de explotación (sin incluir amortización) en función del tamaño de la instalación. Se aprecia la fuerte componente exponencial de la citada gráfica presentada en coordenadas semi-logarítmicas, lo que demuestra el “efecto escala” tan determinante en la composición de los costes de explotación de una determinada E.D.A.R.

## 5. GESTIÓN DE DISPOSICIÓN DE FANGOS

Cuando se habla de la gestión de una E.D.A.R. suele definirse como objetivo al alcanzar la adecuada calidad del agua al menor coste posible. Esta definición simple y correcta es, en nuestros días, insuficiente ya que descuida la incidencia que sobre el medio ambiente tiene la consideración de los subproductos generados en su proceso.

No debe perderse de vista la idea de que la gestión de todo lo que se relaciona con el medio ambiente, trae consigo el estudio detallado del destino final de los desechos (sea cual sea su forma de presentación) ya que todos los medios naturales están relacionados.

Cuando depuramos el agua lo que en síntesis estamos haciendo es separar de ella la contaminación, concentrándola en forma de fango que ejerce el papel de desecho, constituyéndose en el elemento a estudiar en relación con su destino.

Este destino debe estar justificado desde los puntos de vista ecológico, económico y energético, respetando los criterios de calidad e intentando aplicar las técnicas que mejor se adaptan a ello.

Ninguna de las soluciones posibles; vertido, incineración y uso agrícola, debe ser desestimada inicialmente sin realizar un minucioso análisis de cada condicionante.

Lo importante es, por un lado, que la elección se haga lo más acorde posible con las circunstancias de cada caso específico y sobre todo, una vez elegido el sistema, éste se haga bien, en adecuadas condiciones técnicas y con una buena gestión que permita extraer los fangos de una forma regular y eliminarlos y/o recuperarlos en forma racional y sin crear incidencias medio-ambientales.

## 5.1. LOS DIVERSOS DESTINOS

### Vertedero

El sistema de depósito de fangos en vertedero es un método que puede considerarse correcto, siempre que se cumplan todas las condiciones que sanitariamente y, económicamente son necesarias.

Es probablemente el procedimiento más generalizado de destino en Europa, y en U.S.A. alcanza una proporción superior al 25% de los fangos producidos.

El depósito de los fangos puede hacerse en un vertedero exclusivo de fangos de depuradora, generalmente en zanjas, o bien en combinación con las basuras urbanas.

Esta última posibilidad puede ser interesante en aquellos núcleos que dispongan de un vertedero controlado de residuos sólidos ya que la proporción de fangos será proporcionalmente poco importante, en relación las basuras producidas. Como precaución a tener en cuenta en este caso, debe considerarse la necesidad de que el fango no tenga una humedad importante, con el fin de que se mantenga la estabilidad del terraplén que se va formando.

Para municipios o E.D.A.R. de mayor magnitud, parece más interesante inclinarse por la solución de vertedero independiente para fangos, en zanjas estrechas (hasta 3 m.), o bien en zanjas más anchas (de 3 m. a 15 m.), elección que dependerá, fundamentalmente del grado de humedad de la torta y de la posibilidad de acceder al interior de la excavación la maquinaria de trabajo.

La Agencia de Protección de Medio Ambiente Americana (E.P.A.) tiene una normativa sobre las condiciones que deben cumplirse en este tipo de vertederos. Entre estas condiciones es muy importante la elección del espacio de depósito para el que se deben verificar determinadas exigencias en cuanto al suelo y subsuelo, hidrogeología, etc., así como los problemas resultantes de lixiviado,

además de las condiciones urbanistas y legales del terreno seleccionado. En definitiva, se requiere, antes de optar por esta solución, llevar a cabo un estudio de impacto ambiental, social y legal.

Si se dispone de suelo apto y suficiente a un coste razonables y, la distancia de transporte no es excesiva, no es un método excesivamente caro que puede resolver los problemas de destino, sobre todo, en los casos en que la composición de los fangos no permita su aprovechamiento.

De cualquier forma, parece de todo punto necesario, disponer de un vertedero adecuado en todos los casos, como depósito de seguridad, para aquellos momentos en que, aún habiendo optado por otro sistema de destino, éste no puede utilizarse por diversas circunstancias.

Debemos finalmente insistir en este aspecto en la necesidad del cumplimiento de las condiciones sanitarias y ambientales, tanto en las operaciones del vertedero, como en el emplazamiento. Es absolutamente reprobable el depósito incontrolado de los fangos, sin atenerse a estas condiciones que, por otro lado, no son de difícil cumplimiento.

### **Vertido del mar**

La solución de vertido al mar, no es un alternativa recomendable, en términos generales, pues si bien en algunos países europeos costeros se sigue utilizando, en toros está rotundamente prohibida. En U.S.A. aún se vierte al mar casi el 5% de los fangos de depuración.

En cualquier caso, el procedimiento preferible sería el de descarga en alta mar, por medio de barcazas, pese a su elevado coste, con preferencia al vertido con emisario submarino.

### **Incineración**

La incineración es otra de las alternativas posibles, pero puede resultar no sólo alternativa de destino final, sino alternativa de toda o parte de la línea de fangos. (Se hace notar que en cualquier caso se producen unas cenizas que deben ser depositadas en vertedero o reciclada como material de construcción).

Es quizá la solución que plantea mayores discusiones y controversias para los técnicos especialistas entre los que se pueden encontrar acérrimos defensores y encarnizados detractores.

Una línea de fangos muy convencional, quizá la más usual en planta de un cierto tamaño, suele estar formada por un proceso espesamiento-digestión anaerobio-secado mecánico, todo ello de un alto coste de inversión, y, sobre todo, de un gasto de explotación que puede suponer el 50% del total de la planta, como también se ha indicado. En gran parte de estos casos, los fangos, tras este proceso, acaban llevándose a vertedero.

Pues bien, ¿vale la pena someter al fango a un proceso tan complejo para luego hacerlo desaparecer?. Si al final el fango no es aprovechable ¿no sería mejor hacerlo desaparecer cuanto antes e intentar ahorrar espacio y dinero en instalaciones y simplificar costes y complejidad en la fase de explotación?.

Sin profundizar más en este sentido, si creemos necesario expresar que la incineración es un procedimiento alternativo, como otro cualquiera, que debe contemplarse dentro del abanico de posibilidades iniciales y no desestimarse hasta tanto no se haya razonado su inconveniencia en el caso concreto que se analiza y, desde luego no olvidarse de él, sin más, pues en algunos casos puede ser la solución más razonable.

### Uso Agrícola

Evidentemente, el destino final de fangos de depuración que tiene más defensores, por cuanto conlleva implícito el concepto de reutilización es la aplicación agrícola.

Y esto, que es una idea universalmente aceptada, resulta en España más razonable aún por la propia naturaleza de su suelo y por las condiciones del país respecto a la agricultura.

Existen muchos ejemplos en el mundo que utilizan este procedimiento y gran parte de los municipios españoles lo ejercitan, lo cual no quiere decir, sin embargo, que deba adoptarse de una manera sistemática, sin otras preocupaciones adicionales.

Y es que durante los procesos de tratamiento se produce una transferencia tanto de microorganismos como de productos químicos, desde el agua residual al fango, que es preciso considerar para valorar su riesgo potencial en el destino final.

Este análisis de composición del fango complementado con el estudio del suelo o del cultivo, habrá de ser el que determine finalmente su conveniencia o inconveniencia técnica.

Pero hay otro factor más que no debe olvidarse a la hora de decidir esta alternativa; es el factor comercial, no ya sólo desde el punto de vista puramente económico (transporte, costos de inversión y operación), sino desde la perspectiva de su demanda real o su aplicación en el mercado.

Puede afirmarse con carácter general, como lo prueban las experiencias extranjeras y los propios estudios llevados a cabo en nuestro país, que de la valoración agronómica de los lodos se deduce que su uso agrícola está limitado únicamente por su contenido de sustancias tóxicas y su gérmenes patógenos.

Si contemplamos, en primer lugar, la incidencia de los gérmenes patógenos es preciso considerar la necesidad de proceder a una estabilización o desinfección previamente a su disposición agrícola, ya que aunque algunas etapas del proceso normal de depuración facilitan la desinfección, ésta es sólo parcial y muchos de los gérmenes persisten tras este proceso.

En aquellas E.D.A.R. en las que el fango está sometido a un tratamiento de espesamiento, digestión anaerobia y secado mecánico se ha llegado a la conclusión, que confirma los datos ya universalmente recogidos en la bibliografía existente y, en las experiencias de otros países, de que “los niveles de indicadores y patógenos en los fangos deshidratados son muy elevados, por lo que su aplicación al terreno sin realizar una estabilización conlleva elevados riesgos sanitarios”.

Se ratifica con ello la absoluta necesidad de vetar el uso agrícola sin estabilizar o desinfectar el producto.

Si bien un almacenamiento al sol puede contribuir en gran medida a reducir el contenido de gérmenes, este sistema, barato y sencillo, no siempre es factible por falta de espacio o por inconvenientes climáticos, cuando además por otro lado, su eficacia es sólo parcial.

Es preciso acudir a otros métodos generalmente caros y complejos, como la pasteurización o acondicionamiento térmico, prohibitivos económicamente, como la radiación, o de efectos colaterales, como la adición de cal.

Se deduce entonces, que el sistema más conveniente y eficaz ha de ser el compostaje en el que además concurre su valor agrícola adicional.

En análisis experimentales realizados se ha concluido que el compostaje no supone riesgo sanitario alguno desde el punto de vista de gérmenes. Así, la salmonella se elimina dentro de los primeros quince días de compostaje, en cuanto que, el estreptococo fecal es el más resistente por lo que puede llegar a

convertirse o utilizarse como controlador del proceso, es decir, exclusivamente, analizando la relación CF/gr. - tiempo.

En cuanto a los metales pesados, existe, como es conocido, una normativa en cada uno de los países europeos que regula su contenido en los fangos para la aplicación agrícola.

La C.E.E. estableció, asimismo, una Directiva en Junio de 1988 que unificaba estas concentraciones.

Sobre este tema, es conveniente hacer los siguientes comentarios.

En primer lugar, se observa que los contenidos límites establecidos en las normas nacionales, son muy variados por cada metal para los distintos países y la C.E.E. ha adoptado otros valores, generalmente promediados. (Tabla I).

En segundo lugar, que la Directiva de la C.E.E. sólo contempla siete metales, en tanto que otros países regulan algunos elementos más.

En todos los casos, bibliografía y práctica se coincide en considerar al Cadmio como el metal más peligroso, ya que se acumula en las plantas sin provocar la muerte de éstas, siendo también muy importantes el Mercurio, Cobre, Níquel, Zinc y Plomo.

Así, se concluye que, cuando se ha añadido al suelo de ensayo lodo con alta concentración en Cd, se han detectado efectos depresivos en los cultivos con importantes pérdidas de producción y altas concentraciones de este metal en los vegetales analizados.

Estos síntomas han sido verdaderamente importantes a partir de 3 p.p.m. de concentración de metal en el suelo, valor que se ha reducido a 2 p.p.m. en el

caso de suelos ácidos, lo que ha venido a confirmar la importancia del pH en la retención de los metales.

El resto de los metales: Manganeso, Cobalto, Molibdeno, Arsénico, Selenio, no suelen representar riesgo en las concentraciones usuales de fangos, salvo casos puntuales de existencia de industrias específicas en la cuenca tributaria.

La concentración de metales pesados en fangos requiere, no sólo el análisis inicial para determinar la conveniencia del uso agrícola, es preciso efectuar un seguimiento permanente de su evolución en el tiempo. (Véase Directiva C.E.E.).

Finalmente, en relación con el contenido de metales pesados en fangos, debemos pensar que la estrategia principal de actuación debe residir en un control exhaustivo de los vertidos al sistema de alcantarillado, mediante la aplicación real de la normativa legal necesaria.

### **El déficit orgánico de gran parte de los suelos españoles.**

Se concluye, pues, que de todas las posibilidades de uso agrícola de lodos, es la fabricación de compost la más recomendable ya que, por un lado, reúne mayores garantías sanitarias, y, por otro, tiene un adecuado valor agronómico siempre que no se superen los límites recomendables de concentraciones de metales pesados.

Desde el punto de vista de nuestra agricultura en España se da la circunstancia de existir un agudo déficit de materia orgánica en los suelos de cultivo. Los especialistas consideran que estos suelos españoles apenas llegan a alcanzar un 1% en contenido como término medio, e, incluso, en muchos casos, no se supera el 0,6%, cuando el valor medio mínimo suficiente habría de estar cercano al 3%.

Pero a esto debe añadirse el hecho de que la mayor parte de nuestra geografía está sometida a un clima seco y cálido que provoca un más rápido consumo de

materia orgánica que en los países húmedos y fríos, y la acentuada influencia de la erosión en un país de compleja topografía.

Todos estos hechos hacen patente la necesidad de mantener el nivel de materia orgánica en los suelos normales y elevarla en los suelos pobres.

Pues bien, una de las fuentes de materias primas para su empleo como fertilizante orgánico la tenemos ahí como fertilizante orgánico la tenemos ahí como residuo de nuestros procesos de depuración.

**TABLA I**

DATOS OBTENIDOS DE LA DIRECTIVA C.E.E. de 12 de junio de 1986  
SOBRE UTILIZACIÓN DE LODOS EN AGRICULTURA

Cadmio	.	.	.	.	.	20 - 40
Cromo	.	.	.	.	.	1.000 - 1.750
Cobre	.	.	.	.	.	1.000 - 1.750
Mercurio	.	.	.	.	.	16 - 25
Níquel	.	.	.	.	.	300 - 400
Plomo	.	.	.	.	.	750 - 1.200
Zinc	.	.	.	.	.	2.500 - 4.000

Nota: Los fangos se muestrearán con periodicidad SEMESTRAL.

Si surgen cambios en su composición esta periodicidad se rebajará y si se mantuvieran constantes se ampliará a DOCE MESES.

**6. RESUMEN, ASPECTOS Y RECOMENDACIONES GENERALES**

- Si se quiere que el capital invertido no corra el riesgo de ser mal empleado, cuando no dilapidado, es indispensable que se asegure la correcta explotación de las E.D.A.R.
- Los recursos económicos necesarios para mantener el sistema de explotación deben ser recaudados (en forma de tarifas, cánones, tasas o figuras similares) en función de los caudales de agua utilizados y del aporte de contaminación incorporado a los efluentes, mediante una gestión eficaz que garantice el sostenimiento de la actividad de explotación.
- Debe tenderse a una “gestión integrada” de los sistemas de depuración, a los efectos de optimizar el uso de infraestructuras y reducir las incidencias medioambientales.
- Gestión empresarial. La experiencia ha demostrado que la gestión de explotación debe hacerse con criterios de eficacia, versatilidad y agilidad mas propios de una gestión empresarial profesionalizada (bien sea pública, mixta o privada) que de la más rigurosamente formal, que es propia de las organizaciones de la administración pública.
- La experiencia y conocimiento de los multidisciplinares equipos de operación y mantenimiento, debe ser aprovechado y sus recomendaciones y criterios deben ser tenidos en cuenta, en forma de “feed-back”, tanto por los planificadores, como por los Ingenieros diseñadores de sistemas, equipos e

instalaciones, como por los suministradores de bienes de equipos y construcciones.

De esta forma, y gracias a la colaboración de dichos expertos se avanzará en la optimización, regulación y estandarización de las infraestructuras, las cuales, así diseñadas y construidas, facilitarán las actividades de explotación, reducirán el riesgo de operación y, en suma, mejoraran los rendimientos en la eliminación de la contaminación, acelerando la consecución del objetivo previsto.

Una última relación de aspectos, recomendados por organizaciones de ámbito mundial nos puede dar postrera luz sobre la necesidad de optimizar la explotación de los sistemas de saneamiento:

- Utilización de estándares de proceso y operación, avanzando en su unificación.
- Estandarización de los equipamientos mecánicos, eléctricos y de instrumentación.
- Automatización de los procesos de depuración.
- Establecer Programas que favorezcan la seguridad del personal, su cualificación y formación, su responsabilidad y motivación.
- Creación de Programas de Asistencia Técnica para auxiliar el

trabajo de responsables y operadores de E.D.A.R.

- Programar medidas para facilitar la renovación, puesta al día y mejora de las instalaciones deterioradas por su uso o vejez.
- Prevenir los riesgos de mal funcionamiento y reducir los potenciales vertidos accidentales de contaminación.
- Empleo de técnicas de ahorro energético y de reactivos.

## ***A N E J O A***

### ***PARÁMETROS A CONTROLAR EN UNA E.D.A.R.***

## PARÁMETROS A CONTROLAR EN UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES

### 1. INTRODUCCIÓN

Se considera por ejemplo; una estación depuradora de aguas residuales comercial con un tratamiento biológico por fangos activos, digestión anaerobia de lodos y desecación mediante filtros de vacío. Se estudiará primero la línea de agua y en segundo lugar, la línea de lodos.

La relación de parámetros a controlar en cada fase enumerados a continuación, es indicativa y por tanto los criterios del proyectista y del responsable de explotación serán los que determinarán los controles que se realizarán en cada caso concreto, atendiendo a la complejidad de la instalación y a los medios de que se disponga.

### 2. LÍNEA DE AGUA

#### A) Canal de entrada

- \* Caudal
- \* Características físicas:
  - temperatura
  - turbidez
  - color
  - olor
  - sólidos (totales, fijos, volátiles, suspensión disueltos y sedimentables).
  - arenas y sólidos gruesos
- \* Características químicas:
  - materia orgánica (DQO, DBO<sub>5</sub>, COT, grasas, detergentes, fenoles)

- cloruros
- alcalinidad
- nutrientes (nitrógeno y fósforo)
- azufre
- tóxicos
- Iones pesados
- gases disueltos (oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico, amoníaco, metano, sulfhídrico).

\* Características biológicas:

- colimetría
- recuento de colonias
- estreptometría fecales
- clostridios sulfito reductores

B) Pretratamiento:

- \* cantidad de sólidos gruesos en rejas y rejas finas
- \* cantidad de arena retirada del desarenador
- \* granulometría de la arena retirada
- \* materia orgánica contenida en arena retirada
- \* pérdida de carga en rejas y rejillas (finos)

C) Decantación primaria:

- \* caudal tratado
- \* sólidos a la salida
- \* DBO<sub>5</sub> a la salida
- \* turbiedad

D) Zona de aireación:

- \* sólidos del licor mezcla
- \* volumen decantado a los treinta minutos
- \* oxígeno disuelto
- \* nutrientes
- \* caudal tratado (tiempo de retención)
- \* olores

E) Decantación secundaria:

- \* caudal tratado
- \* caudal recirculado
- \* sólidos a la salida
- \* DBO<sub>5</sub> a la salida
- \* oxígeno disuelto
- \* turbidez a la salida

F) Cloración: cloro residual

G) Canal de salida: Se controlarán los parámetros que queramos obtener el rendimiento en la depuración. Por tanto, será necesario determinar todos los que hemos enunciado en el canal de entrada.

### **3. LÍNEA DE LODOS**

A) Decantación primaria:

- \* volumen de lodos producidos
- \* concentración
- \* características físicas y químicas de lodos:

- sólidos
- materia orgánica
- pH
- alcalinidad
- septicidad
- gasificación (metano, sulfídrico, carbónico)

B) Decantación secundaria:

- \* igual que primarios

C) Digestión de lodos:

- \* volumen de lodos
- \* concentración
- \* sólidos volátiles y fijos
- \* ácidos volátiles
- \* pH y temperatura
- \* alcalinidad
- \* determinación de inhibidores:
  - detergentes
  - sulfuros
  - cationes pesados
  - iones amonio
  - compuestos orgánicos como cianuros, fenoles, etc.
  
- \* producción de gas (sólo en la digestión anaerobia)
- \* análisis de gases:
  - metano
  - sulfhídrico

- anhídrido carbónico

D) Calefacción de lodos:

- \* temperatura del agua
- \* temperatura del lodo
- \* presión del gas
- \* gas sobrante quemado
- \* combustible auxiliar utilizado
- \* características del agua de calefacción

E) Secado de lodos:

- \* volumen de lodos
- \* concentración
- \* sequedad de la torta
- \* reactivos utilizados
- \* vacío producido
- \* rendimiento por metro cuadrado

## INSTRUMENTACIÓN

### **1. GENERALIDADES**

Se entiende por instrumentación al conjunto de elementos cuyo objeto es la medida de los parámetros enunciados anteriormente. Algunos de ellos realizarán tanto la medición como la transmisión a distancia, así como el registro de los parámetros físicos y químicos determinados.

Las características a considerar para la elección de una instrumentación correcta son:

- a) Sensibilidad: Indica la concentración mínima detectable.
- b) Especificidad: Evalúa las interferencias que puedan aparecer en la medida.
- c) Estabilidad: Indica la fiabilidad de la medición en el tiempo. Es importante precisar la permanencia de la medida cero.
- d) Tiempo de respuesta: Tiempo entre que se toma la muestra y se da el resultado.
- e) Calibración: Procedimiento de comparación de medida con una muestra patrón.
- f) Precisión: Indica el error máximo con que se aprecia una medida.

Conociendo las características del instrumento, se podrá juzgar si es idóneo para determinar un parámetro. Influirá en la decisión la importancia que tenga dentro del proceso y el grado de precisión con que se quiera el resultado.

## 2. TIPOS DE INSTRUMENTOS

### A) Equipos de Toma de Muestras:

Consisten en aparatos que realizan toma de muestras periódicas y de volúmenes determinados. Las muestras han de ser representativas. Por tanto, habrán de tomarse a lo largo de un período representativo y proporcionales al caudal.

### B) Medición de caudal:

El caudal se puede medir en canal o en tubería. En canal abierto se utiliza fundamentalmente la medición de una altura de lámina en una zona con unas características físicas definidas (TIPO PARSHALL, VENTURI). Hay que evitar cambios de régimen en dicha zona. Otro procedimiento es la medición de alturas de láminas de agua sobre vertedero fino.

En tubería se usan, muy poco; los contadores de turbina o émbolo y los clásicos de presión diferencial, por los problemas de atascamiento y ensuciamiento que provocan las aguas residuales, y son cada día de utilización más universal los medidores electromagnéticos que tienen la ventaja de no producir pérdida de carga, disponer de paso libre ó integral y ser inatascables.

### C) Turbidez

Son instrumentos que determinan la turbiedad de un líquido midiendo la cantidad de luz difundida por el efecto Tyndall, debido a la presencia de partículas de agua. Pueden ser continuos o de muestras aisladas.

### D) Resistivímetros:

Son instrumentos que miden la oposición o resistencia al paso de una corriente eléctrica por el seno de un líquido. Esta resistencia es proporcional al contenido en sales disueltas del agua a una temperatura determinada. Se mide por tanto conductividades (mho/cm).

*E) pH Metros:*

Se basa en la medición de una diferencia de potencial función lineal de la concentración de iones hidrógeno entre una solución calibrada y otro problema, mediante dos electrodos. En la práctica van unidos formando una sonda.

Pueden ser de funcionamiento continuo con registro gráfico o de medida de muestras específicas.

*F) Medidores de oxígeno disuelto:*

Estos aparatos entran dentro de los AMPERÍMETROS que se utilizan para medir la concentración de agentes oxidantes en el agua (cloro, oxígeno, bromo, ozono). El fundamento de la medición se basa en disponer de un cátodo inatacable (platino) y un ánodo de cobre, plata, cadmio, etc.

En ausencia de un oxidante, la pila se polariza y sólo es atravesada por una muy pequeña intensidad. La despolarización es proporcional a la concentración de oxidante que se reduce en el cátodo y por tanto, se mide la intensidad de la corriente así generada.

*G) Medidores de oxígeno local:*

Se realiza la medición en una de reacción a través de la cual fluye una corriente de nitrógeno con una riqueza conocida en oxígeno. La materia oxidable se convierte en óxidos estables en el cátodo. Se mide la concentración en oxígeno estable en el cátodo. Se mide la concentración final, obteniéndose la

correlación que los da la demanda de oxígeno total y que generalmente se grafía de una forma continua.

#### *H) Medidores de porcentaje de fangos y densímetros:*

Estos aparatos se utilizan para conocer las concentraciones de fangos tanto en digestión como en la zona de activación.

El porcentaje de fangos se mide de una forma automática utilizando aparatos detectores foto-ópticos que determinan la zona de separación, de una muestra que se toma a intervalos y se deja reposar un tiempo definido, agua-lodos decantados.

Los densímetros efectúan la medición por comparación de la carga transmitida a un plano hidroestático común de los líquidos; uno el problema y otro el calibrado.

#### *I) Medidores de nivel:*

Se utilizan para conocer el nivel de los depósitos o también para comparar columnas de agua antes y después de un aparato (ej.: rejillas) y actuar sobre su funcionamiento. Fundamentalmente se utiliza:

- \* Flotadores
- \* Boyas
- \* Burbujas de aire (miden la columna de agua existente sobre la salida del aire).
- \* Membrana (deformación según carga).
- \* Capacidad (capacidad en función de lo que está sumergido un condensador).
- \* Ultrasonidos (altura de lámina proporcional al tiempo que tarda un ultrasonido entre que se emite, se refleja y se vuelve a captar).

En aguas residuales son interesantes los medidores que no están en contacto con el agua, como el de ultrasonidos, ya que no sufren corrosiones ni se interfieren con los sólidos y las grasas.

*J) Temperatura:*

Se utilizan termómetros con resistencia para poder transmitir la señal. Es decir, se correlaciona temperatura con resistividad. Son muy importantes en la digestión de lodos para continuar la marcha del proceso.

*K) Autómatas químicos:*

Consisten en aparatos que miden la concentración de un parámetro químico disuelto con el agua, ya sea por colometría o volumetría de soluciones valoradas.

Con estos aparatos se pueden medir el cloro, dureza, alcalinidad, detergentes, hierro, fenoles, etc.

## **AUTOMATIZACIÓN**

### **1. INTRODUCCIÓN**

La automatización consiste en confiar a elementos mecánicos la realización de las operaciones necesarias para realizar un proceso.

Es un proceso de depuración de aguas, existen numerosas operaciones que se repiten; Purgas periódicas de fangos, cierre y apertura de válvulas, entrada en funcionamiento de bombas, apertura de compuertas, limpieza de rejillas y desarenadores, etc.

Los fines que se persiguen con la automatización son básicamente dos: a) simplicidad y precisión y b) economía.

Al automatizar un proceso, se evitan posibles errores humanos, ya que si se equivoca la máquina, se para. Por otro lado, es más importante poder ahorrar horas de intervención de operario, dada su incidencia en el costo total.

También hay que destacar la correcta valoración de la automatización y su repercusión económica de explotación, mantenimiento y averías.

### **2. AUTOMATISMOS**

Se pueden considerar tres clases de automatismos:

- A) Mando secuencial manual a distancia.
- B) Mando secuencial automático con arranque manual.
- C) Mando secuencial automático con arranque automático.

El automatismo secuencial tiene como objeto unir entre sí las operaciones unitarias que se realizan dentro de una misma secuencia. Por ejemplo: para evitar una purga de lodos de un decantador hay que:

- 1°) Abrir una válvula.
- 2°) poner en marcha una bomba.
- 3°) cerrar una válvula después de un tiempo prefijado.
- 4ª) parar la bomba que manda el lodo al concentrador o digestor.

Estas operaciones se pueden realizar manualmente o confiarlo todo o en parte a automatismos. Está claro que si la purga se realiza en un tiempo y con una duración determinada, será siempre más precisa la operación que si la realiza un reloj temporizador.

En el automatismo con Mando secuencial manual a distancia es el operario el que determina el paso de una secuencia a la siguiente. Tiene la ventaja de que puede controlar el resultado obtenido en cada secuencia. Para ello, en el caso de la purga citado anteriormente, puede actuar viendo las densidades del lodo extraído, que le puede ir dando el densímetro.

El Mando secuencial automático con Arranque manual tiene la característica de que sólo es manual la orden de inicio del proceso. En el ejemplo de la purga, sería el operario el que decidiría que se empezase a purgar, pero el final de la operación, o estaría temporizado o se automatizaría la conexión del densímetro al resto del proceso.

Automatismo con Mando secuencial automático con Arranque Automático tiene como característica la ausencia total de decisiones tomadas por un operario. En el caso citado anteriormente, consistiría en que el inicio de la operación estuviera temporizado (cada treinta segundos por ejemplo), o que se tomarán muestras de la poceta concentradora de lodos y a la que alcance una concentración determinada se

procederá al inicio de la operación, pero este caso habrá que introducir un temporizador, ya que si no se alcanza la concentración deseada, no se inicia el proceso y se podría llegar a tiempos muy prolongados que permitieran el inicio de procesos anaerobios.

### **3. CONTROL Y VIGILANCIA DE LOS AUTOMATISMOS**

Los automatismos necesitan de un control y vigilancia de su actuación. No se puede dejar una planta por muy automatizada que esté sin un control de personal especializado, que compruebe en cada momento que se están realizando las operaciones de una forma lógica, y con los rendimientos predeterminados. Aparte del control humano de los procesos automatizados, se suele introducir en ellos programas de “secuencias lógicas”. Es decir, se controla que si las órdenes emitidas han sido bien recibidas y ejecutadas, y se han hecho en el orden pre-informado. Para ello nos valdremos de controles automáticos de posición y llaves y válvulas, de parada y marcha en bombas, de caudales mínimos y máximos, etc. En el caso de fallar alguna secuencia, se paraliza el proceso y se da una señal de ALARMA al operario. En el caso de purga de fangos, puede existir un control de que cuando no se está realizando el proceso, la válvula debe estar en posición de cerrado.

En definitiva, una estación muy compleja y completamente automatizada, necesita de un control humano constante y la posibilidad de paro por accionamiento manual.

## ***A N E J O B***

### ***CONTROL MICROSCÓPICO DE FANGOS ACTIVOS***

### **CONTROL MICROSCÓPICO**

La aplicabilidad de los métodos y ensayos para controlar a los procesos de depuración biológica de aguas residuales por fangos activos, están basados en la circunstancia de que las especies y tipos de microorganismos presentes, así como la abundancia y densidad relativa de éstos, es una guía para conocer la estructura ecológica de ese ecosistema.

Identificado este ecosistema y la correlación existente entre su organización y estructura y la bondad de los rendimientos de la depuración, se puede predecir y controlar a corto plazo, tanto de aislamiento de los resultados de la depuración como la del mismo ecosistema particular que es la balsa de aireación de una estación depuradora de aguas residuales.

En principio, cabe decir que, interesa hacer un control microscópico siempre, ya que las plantas de tratamiento de aguas residuales están basadas en sistemas biológicos y los procesos de depuración se fundamentan en los mismos microorganismos.

Frente a los procedimientos analíticos convencionales, interesa recurrir a los métodos biológicos, cuando sea necesario un ahorro de tiempo (es un control eficaz y económico) por ejemplo:

Ante la puesta en marcha, reflejará el estado de madurez del proceso biológico en un momento dado.

Ante la aparición de períodos de recuperación, en las fases de superación: choque tóxico, cambio de pH, etc.

Frente a los métodos habituales para el control del mantenimiento del proceso en una E.D.A.R., se puede decir que; las determinaciones analíticas son de mucho mayor costo, y en ocasiones no reflejan fielmente la realidad de la situación. Por ejemplo:

Por métodos cuantitativos, la llegada de sustancias tóxicas no afectan a los valores de MLSS que apenas varían, y sin embargo determinadas reacciones metabólicas de los microorganismos pueden quedar inhibidas o gravemente afectadas.

También la llegada de sustancias perturbadoras pueden producir el enquistamiento de determinados protozoos, disminuyendo el rendimiento de la clarificación del efluente.

El bioensayo es un método de control rápido. La visualización mediante microscopio óptico puede determinar en qué condiciones se encuentra el fango, observando la aparición o desaparición de especies de la microfauna allí contenida.

Ya que los factores del medio ejercen una presión ambiental sobre la fauna y flora del sistema y seleccionan, la clase de organismos que van a estar presentes, podemos invertir la situación y obtener un abanico de datos a partir de los protozoos (en especial) y demás organismos encontrados, tales como niveles de temperatura, pH, oxígeno disuelto, existencia o no de materiales tóxicos y DBO.

Los seres vivos muestran fielmente las condiciones en las que se encuentran el sistema (lugar de muestreo). Por motivos económicos los métodos cuantitativos usualmente utilizados se realizan como término medio semanalmente o diariamente.

Los métodos biológicos de muestreo permiten un control efectivo diario y debido a la rapidez de diagnósticos y al pequeño volumen empleado, se puede realizar un muestreo múltiple; es decir, se puede investigar en poco tiempo el estado de varios puntos de toma de muestra o de un mismo punto, lo que aproxima resultados más rigurosos.

**ALTERACIONES EN EL PROCESO DE FANGOS ACTIVOS**

Existen determinadas alteraciones en el proceso de Fangos activos, donde es imprescindible el control a microscopía óptica.

Estas alteraciones pueden quedar resumidas en dos problemas de funcionamiento:

- Problemas de decantabilidad en los fangos.
- Formación de espumas.

Ambas alteraciones tienen como causante la aparición de organismos filamentosos.

Estos organismos filamentosos pueden ser de diferente naturaleza: Algas cianofíceas, hongos y bacterias filamentosas.

El desarrollo masivo de cada uno de ellos, depende de variados factores, algunos de los cuales no están todavía bien determinados.

Se ha comprobado que descensos bruscos en el pH, han provocado el crecimiento de hongos.

En las plantas de depuración urbana el problema más común es la aparición de bacterias filamentosas.

Estos organismos se desarrollan cuando las poblaciones de bacterias, propias del agua residual y que se pondrían considerar como autóctonas de este tipo de agua, se ven afectadas por agentes externos: bien son inhibidas o eliminadas por algún tipo (s) de sustancia (s) que porta el agua residual de entrada en planta.

A través de controles microscópicos se ha observado que a lo largo de la semana la intensidad de colonización de flóculos por estas bacterias filamentosas es variable.

Este hecho se relaciona con descensos de la carga orgánica durante los fines de semana (60% de la carga en días normales) o bien con la ausencia de ciertos sustratos que son necesarios para su crecimiento durante estos días.

Es digno de mención, el hecho de que, en el ciclo vital de estas bacterias filamentosas, existen cambios en la morfología.

Si bien, en determinados casos elongan sus ramificaciones (en el caso de tenerlas), otras presentan estos filamentos y forman formas bacterianas de pequeño tamaño, susceptibles a una germinación cuando las condiciones lo requieran.

Algunos autores relacionan la aparición de este tipo de bacterias con edades del fango elevadas. Si bien concluiremos, que no desaparecen totalmente, al descender la edad del fango.

**PROBLEMAS DE DECANTABILIDAD EN LOS FANGOS**

Las bacterias filamentosas colonizan los flóculos de fango. Forman largos filamentos que se entrelazan en el flóculo de fango, disgregándolo y por lo tanto alterando sus características de sedimentabilidad.

Estamos haciendo referencia a fangos en los que las poblaciones de ciliados y bacterias están bien establecidas para la oxidación biológica, (la cual funciona bien), pero que existe el problema de aparición de filamentosos en el seno de sus flóculos.

Cuando aparece este problema en una planta de depuración, la observación a microscopía sirve para descartar la posibilidad de que el problema haya surgido como consecuencia de problemas operacionales en el proceso de depuración. Es la consecuencia de la problemática del agua residual: el aporte de sustancias perturbadoras ocasiona cambios bruscos en el proceso de maduración y establecimiento del fango en las balsas de aireación favoreciendo el desarrollo de bacterias filamentosas.

Cabe destacar que la presencia en pequeñas cantidades de estos organismos filamentosos favorecen la formación de flóculos, mejorando la calidad del efluente.

Los problemas de esponjamiento de fangos y producción de bulking son producidos por organismos filamentosos también; llegando el crecimiento y elongación a un grado máximo.

Se debe a la producción de fangos de poca densidad, con poca compactación.

Hay diversos parámetros a tener en cuenta:

- pH bajos.
- O<sub>2</sub> disuelto y tiempo de aireación exceso.
- elevada carga másica.
- baja concentración de los niveles nutrientes (N<sub>1</sub>P).

Estos parámetros influyen, más bien, sobre el contenido microbiano del flóculo creándole unas condiciones desfavorables, que sobre los filamentosos en sí. digamos que, en condiciones desfavorables, sobreviven los que tienen más respuestas a las variaciones del medio. Los filamentosos pueden obtener energía de la oxidación de metales (de aguas con compuestos reducidos de hierro y manganeso).

Existe un método sencillo, para comprobar si existen o no problemas de esponjamiento en un fango. Es mediante la realización de **CURVAS DE DECANTACIÓN**.

Representan la relación; volumen decantado/tiempo.

Se realizan curvas con el fango diluido y sin diluir. So los fangos son concentrados la dilución tiene mucha importancia en las primeras diluciones y en los primeros diez minutos.

Si hay problemas de esponjamiento las diluciones tienen importancia después de 10 minutos.

También permiten calcular el índice de fango, a partir del VF/MLS (gr./l).

### **FORMACIÓN DE ESPUMAS**

Los organismos filamentosos favorecen la formación de espumas en superficie, por la disposición de los mismos, creando una estructura a modo de “trama” que permite el aumento de la tensión superficial del fluido.

La espuma formada por estos organismos es de dos tipos:

**TIPO I:** Espumas de color blanquecino, esponjosa, que puede formar montículos o tener aspecto de “natillas”.

**TIPO II:** Espumas de color marrón, de aspecto viscoso y brillante. Este tipo de espumas puede llegar a cubrir por entero la superficie de las balsas de aireación.

Este fenómeno está relacionado con bajo contenido en los MLSS (sólidos en suspensión del licro mixto) de la balsa.

En otras ocasiones se relaciona con una baja carga másica.

De todas formas existe una clara relación entre los niveles de oxígeno, la concentración de MLSS y la aparición de espuma viscosa en la balsa.

La diferencia entre la espuma de tipo I y II, reside en el estadio morfológico de estos filamentos.

La propia estructura en trama de estas redes de filamentos (con aumento de la tensión superficial) favorecen la formación de espumas. El exceso de aireación produce burbujas superficiales grandes que alejan los filamentos de la fuente de alimento, que es el fango (contribuye si éste está en baja concentración); cuando no tiene suficientes requerimientos nutricionales se potencia el abandono de las células que habitan las vainas que recubren a los filamentos, al sistema produciéndose un efecto autocebante.

A continuación se muestran dos ejemplos de control mixto en el estudio de los problemas creados por organismos filamentosos:

### **NOCARDIA sp. (Organismo Nocardiforme).-**

#### 1. Estudio microbiológico.

Es un Gram + y Neisser.- En su forma estable tiene filamentos ramificados o de pequeño tamaño.

Los filamentos presentan una cubierta aérea, que en conjunto y en suspensión causal la aparición de espumas marrones de apariencia grasa, y quedan en flotación.

Las causas del crecimiento de este filamentosos no están bien definidas.

## 2. Control.

- Disminución de los niveles de oxígeno en las balsas, al ser un organismo estrictamente aerobio.
- Se obtienen efluentes de buena calidad, en el caso de contener fango de arrastre la DBO decantada es baja.
- IVF alrededor de 200 ml/gr.

## 3. Índice de vigilancia y control.

- Aparición de espuma marrón viscosa en la superficie de las balsas y migración a los decantadores secundarios.
- La disminución de los niveles de oxígeno de Balsa, altera el metabolismo de este organismo, pero pueden peligrar el resto de microorganismos depuradores.

## **MICROTURIX sp.**

### 1. Estudio microbiológico.

Gram - y Neisser  $\pm$  . Forma filamentos muy curvados y enrollados unos con otros.

Tanto la presencia de vaina, de septación y la forma de la células no es visible a microscopía óptica.

Crecimiento óptimo a pH básicos.

### 2. Control.

- Forma unos fangos de color característicamente blanquecinos y ligeros, con sedimentación lenta y dispersa.
- Efluentes de buena calidad, aunque suele arrastrar fango debido a su poca compactación.
- IVF mayor de 300 ml/gr.

### 3. Índice de vigilancia y control

- Fangos blanquecinos.
- Relacionados con el contenido en grasas del influente. Si se eliminan las grasas, desciende su aparición.
- Actúan sobre pH básicos hasta la neutralidad.

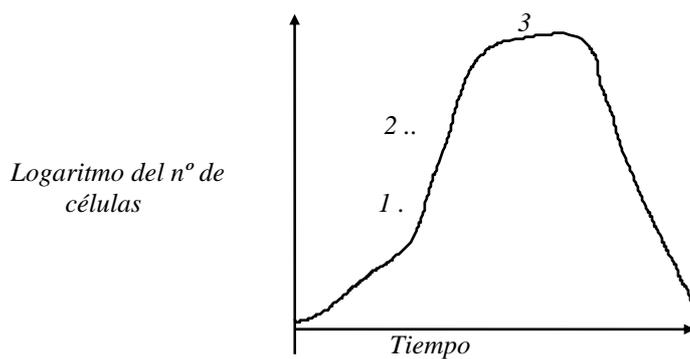
## ***A N E J O C***

### ***MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DEL PROCESO DE FANGOS ACTIVOS***

### CINÉTICA DEL CRECIMIENTO BACTERIANO

La forma predominante de reproducción de las bacterias y otros microorganismos es por “mitosis”. Es decir, división de la célula original en dos nuevos organismos. Dependiendo de la velocidad de reproducción, una sola célula podría en breve plazo transformarse en un número millonario de nuevos seres. Pero la división no puede hacerse infinitamente debido a las limitaciones ambientales, tales como la concentración de alimento y nutrientes.

La curva típica de crecimiento de las bacterias, se detalla a continuación:



Pueden observarse cuatro fases:

- 1<sup>a</sup> - Fase de aclimatación. Representa el tiempo requerido para adaptarse al nuevo entorno.
- 2<sup>a</sup> - Fase de crecimiento exponencial. Los microorganismos se reproducen a la velocidad correspondiente a su tiempo de reproducción y a su capacidad de asimilar el sustrato.

3ª - Fase estacionaria. La población permanece estacionaria, porque las células han agotado el sustrato o los nutrientes, y porque la tasa de nacimiento se equilibra con la de defunciones.

Durante esta fase, las bacterias se ven obligadas a metabolizar su propio protoplasma, al faltar el alimento.

4ª - Fase exponencial de defunciones. El número de células que mueren es superior al de las que nacen.

Un cultivo adecuado es la clave del éxito para la estabilización de la materia orgánica, o disminución del contenido de DBO, de las aguas residuales urbanas.

Si las condiciones ambientales son adecuadas, el rendimiento del tratamiento biológico puede estimarse mediante los modelos matemáticos que reproducen la cinética del crecimiento bacteriano.

La ecuación utilizada es:

$$\frac{dX}{dt} = Y \cdot \frac{dS}{dt} - k_d X$$

Donde: X = Concentración media de microorganismos (MLSS)

Y = Coeficiente de rendimiento de la producción de nuevas células. 0,65 - 0,7

K<sub>d</sub> = Coeficiente desaparición de organismos 0,1 d<sup>-1</sup>

S = Concentración de sustrato en el agua residual.

### **MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DEL PROCESO DE FANGOS ACTIVOS**

## A. MODELO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN CELULAR

Desarrollamos en este apartado el modelo matemático que se aplica a un proceso de tipo convencional, suponiendo un sistema de mezcla completa con recirculación.

Como puede verse en el gráfico que se acompaña, podemos desarrollar, suponiendo que la producción de DBO se produce en el interior del reactor o balsa de activación, las siguientes ecuaciones:

Si expresamos el tiempo de retención de los sólidos en el reactor, como el cociente entre la masa existente en la balsa y la masa que se evacua:

$$\sigma_c = \frac{VX}{Q_p X + (Q-Q_p)X_e} = \frac{\text{Lo que hay dentro}}{\text{Lo que se purga y sale}} \approx \frac{V}{Q_p}$$

Siempre que se efectúe la purga en la balsa de aireación, ó:

$$\sigma_c = \frac{VX}{Q'_p X_r + (Q-Q'_p)X_e}$$

si la purga se hace del decantador.

Por otra parte, si expresamos el balance de masa del sistema, tendremos:

$$V = \frac{dX}{dt} = \underbrace{(Y \frac{dS}{dt} - K_d X)}_{\text{Producción sólidos biológicos}} \cdot V - \underbrace{[Q_p X + (Q - Q_p) X_e]}_{\text{Eliminación de la DBO soluble}} - \underbrace{[Q_p X + (Q - Q_p) X_e]}_{\text{Cantidad de sólidos biológicos que se evacúan}}$$

En el equilibrio, como X debe ser constante, su derivada debe ser igual a cero.

En efecto, haciendo las correspondientes operaciones, obtendremos:

$$X = \sigma_c [Y(S_0 - S)] = \frac{Y Q}{Q_p} \sigma_c (S_0 - S)$$

$$\sigma_n = \frac{1 + K_d \sigma_c}{V (1 + K_d \sigma_c)}$$

De esta última fórmula matemática, se pueden obtener, conociendo una serie de datos, diferentes variables que definen el proceso.

## B. MODELO DE CONSUMO DE OXÍGENO

Otro modelo muy importante y cuya utilización es básica, es el correspondiente al cálculo del oxígeno requerido para satisfacer las necesidades del proceso.

La cantidad teórica de oxígeno se calcula una vez conocida la DBO del agua residual y la cantidad de microorganismos purgados diariamente del sistema.

Si toda la DBO se convirtiera en productos finales, la demanda teórica de oxígeno se calcularía en función del valor de la DBO última (DBO  $\infty$ ), pero como una porción del agua residual se convierte en nuevas células que se purgan del sistema, es necesario hallar la diferencia entre este valor y el correspondiente a las células purgadas.

Por tanto, podemos expresar que:  $O_2 = \frac{dS}{dt} - F \frac{dX}{dt}$

Es decir:

Oxígeno necesario:  $\frac{\text{Sustrato total utilizado}}{\text{en la unidad de tiempo}} - F \cdot \frac{\text{Masa activa purgadas en la}}{\text{unidad de tiempo}}$

F es una cte. que vale 1,42 y representa el factor de conversión del protoplasma celular en sustrato ó DBO última.

### *Nomenclatura utilizada:*

$\sigma_c$  = Tiempo de retención medio celular o edad del fango

$V$  = Volumen de la balsa de aireación

$Q$  = Caudal de alimentación de agua

$Q_p$  = Caudal de purga (realizada de la balsa de aireación)

$Q'_p$  = Caudal de purga (realizada del decantador secundario)

$X_r$  = Concentración media de microorganismos en el caudal de recirculación

$X_e$  = Concentración de microorganismos en el caudal de salida.

$Q_n$  = Tiempo de retención hidráulica.

### C. MODELO DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN DE LA DBO

Para calcular la  $DBO_{\infty}$ , a partir del valor comúnmente utilizado o  $DBO_5$ , es necesario que consideremos el modelo matemático de la cinética de la reacción de la DBO.

Se supone una reacción de primer orden:

$$\frac{d(DBO_t)}{dt} = -K' (DBO_t)$$

donde  $DBO_t$  es la demanda biológica de oxígeno que queda en el agua en el tiempo  $t$ ; y  $K'$  es la constante de velocidad de reacción, que depende cada tipo de agua residual.

Si se integra esta ecuación, se obtiene:

$$DBO_t = DBO_{\infty} \cdot 10^{-K' \cdot t}$$

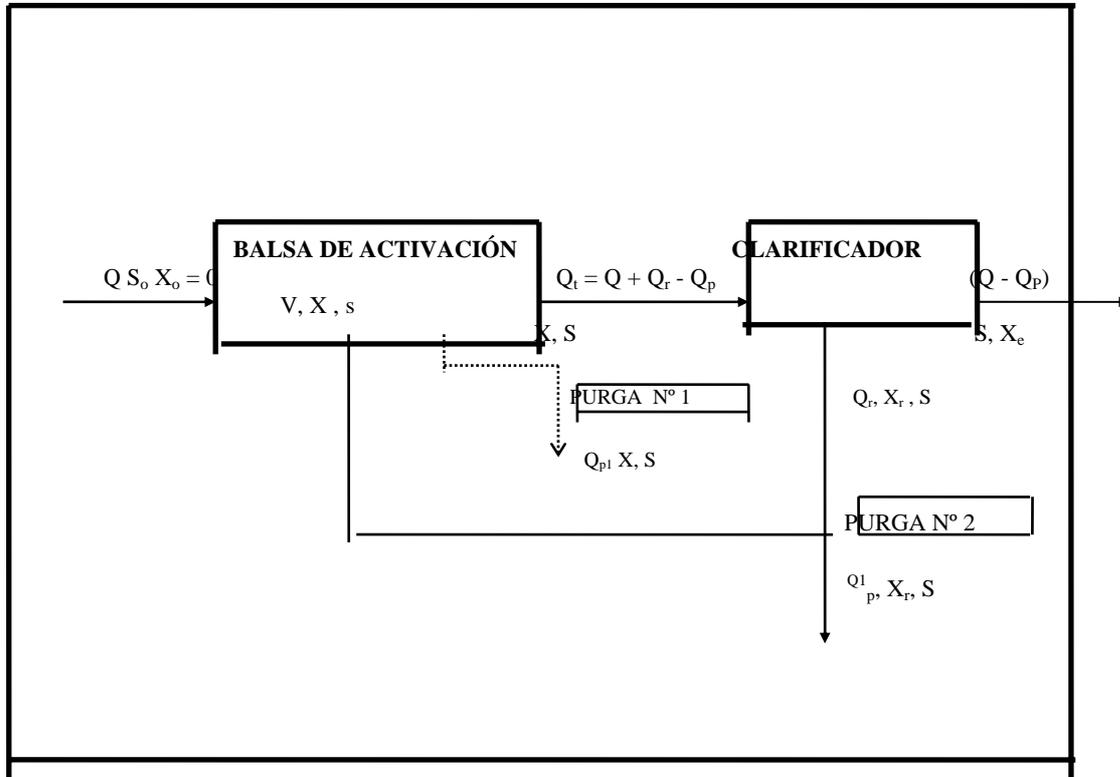
Siendo  $DBO_{\infty}$  la DBO remanente en el tiempo  $t = \infty$  y  $K_T$  la constante de reacción de la temperatura  $T$  (para la base 10).

Es importante tener en cuenta que la temperatura ejerce una importante influencia en el proceso de tratamiento biológico. Se puede expresar:

$$K_T = K_{20} \epsilon^{(T-20)}$$

Siendo  $\epsilon$  el coeficiente de temperatura que para un proceso de lodos activos varía entre 1,00 y 1,04.

Una vez introducida la modelización matemática de un proceso de fangos activos, es necesario recordar que existen otros diferentes desarrollos teóricos sobre la cinética de los procesos, que pueden ser igualmente válidos al aquí expuesto.



## ***A N E J O D***

### ***CONSUMO ENERGÉTICO DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVOS***

## **CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS FANGOS ACTIVOS**

### **1. COSTES DE ENERGÍA**

En un tratamiento biológico podemos hacer las siguientes distinciones de consumo energético:

- Sistemas de aireación.
- Sistemas de clarificación (decantación secundaria).
- Sistemas de recirculación de fangos.

Frente al primer sistema, el consumo energético de los otros dos es realmente despreciable.

Vamos, pues, a analizar el consumo energético demandado por el sistema de aireación.

El mantenimiento de las condiciones del cultivo microbiano exige condiciones aerobias del reactor biológico. Esto determina el aporte de oxígeno y su disolución. Las técnicas más comunes para introducir este gas son las de:

- Difusión mediante burbuja (fina, media o gruesa).
- Aireación superficial (turbinas, cepillos, etc.).
- Aireación sumergida (bombas sumergibles con “Venturi”, Jets, difusores mecánicos, etc.).

Siempre que dejemos a un lado el método de aporte de oxígeno puro, poco utilizado en nuestro país.

Los tres sistemas epigrafiados incorporan aire atmosférico a la masa de fango.

Es frecuente, en primera aproximación, utilizar un ratio de necesidades teóricas de oxígeno que se encuentra en el entorno de 1,2 a 1,5 Kg. O<sub>2</sub>/Kg. DBO<sub>5</sub> reducida. O lo que viene a ser lo mismo, en condiciones medias; 1,25 KWh./Kg. DBO<sub>5</sub> reducida, de consumo real energético.

Otra forma de expresar este consumo medio en la etapa biológica es el de 20 a 30 kwh./h.e. y año.

El valor económico de este consumo depende en la explotación industrial de una E.D.A.R. de varios conceptos relacionados con las tarifas eléctricas:

- Potencia contratada (alta o baja tensión).
- Tipo de tarifa (discriminación horaria).
- Consumo de energía reactiva.

En el presente año 2000, el KW/h. industrial puede variar desde 12 pts. de coste en plantas de tamaño grande bien gestionadas, a 18 pts. en plantas medianas con menor control eléctrico.

Precios que aplicados a los valores obtenidos suponen:

240-360 pts./h.e. y año, o lo que es lo mismo:

900-1.600 pts/m<sup>3</sup> diario y año, o bien:

2,5 - 4,5 pts/m<sup>3</sup>

Como puede apreciarse en el anterior ejemplo, el entorno de variación de los costes energéticos varía ampliamente, por lo que es necesario proceder a un estudio más detallado en cada caso particular de las condiciones de funcionamiento de una determinada E.D.A.R.

Vamos, pues, a profundizar en los conceptos básicos que nos van a permitir optimizar estos costes:

- \* Demanda de oxígeno de los fangos activos.
- \* Aportación nominal y específica del equipo aireador o bien el rendimiento de oxigenación (para sistemas de difusión de aire).
- \* Control y regulación del aporte de oxígeno.

### 1.1 Demanda teórica de oxígeno

Podemos analizar las necesidades de oxígeno (o aire) demandadas por un proceso de fangos activos a través de alguno de los siguientes modelos:

#### A. Teoría cinética del crecimiento bacteriano

La cantidad teórica de oxígeno puede calcularse a partir de la DBO aportada por el agua residual y la cantidad de biomasa purgada.

En efecto, si parte de la DBO se oxida a productos finales, y el resto es convertida en células nuevas, que son purgadas del sistema, tendríamos:

$$\text{O}_2 \text{ (Kg/día)} = (\text{sustrato o alimento}) - K \text{ (organismos purgados)}$$

siendo K el coeficiente que marca el consumo de oxígeno por unidad de microorganismos mineralizados si ponemos:

$$(\text{Células}) + (\text{Oxígeno}) = (\text{Productos finales})$$



$$\frac{\text{Kg O}_2}{\text{Kg Cel}} = \frac{5 \cdot 16 \cdot 2}{113} = \frac{160}{113} = 1,42$$

$$\text{luego: } O_2 \text{ (Kg/día)} = (\text{DBO}_t - \text{DBO}_5) \cdot Q_t - 1,42 M_p$$

donde:  $\text{DBO}_t$ : DBO de entrada al biológico, unitaria.

$\text{DBO}_5$ : DBO de salida del biológico, unitaria.

$Q_t$ : Caudal total diario.

$M_p$ : Masa de fangos purgados.

### B. Fórmula de Eckenfelder

El oxígeno a suministrar se compone, al no producirse nitrificación, de dos sumandos:

1) Para síntesis de biomasa, que es proporcional a la  $\text{DBO}_5$  eliminada.

$$a \cdot R/100 \cdot L$$

siendo:

a: Coeficiente de necesidades de oxígeno para la síntesis de materia orgánica disuelta (ver tabla).

R: Rendimiento de eliminación de  $\text{DBO}_5$  en el reactor biológico.

L: Carga orgánica incorporada al reactor (como  $\text{DBO}_5$ ).

2) Para la respiración de la masa celular (respiración endógena), proporcional a dicha masa.

$$K_R \cdot v \cdot M$$

siendo:

$K_R$ : Coeficiente de respiración endógena (véase tabla), que varía según la carga másica.

V: Volumen del reactor.

M: Concentración de biomasa en el reactor.

En ambos no se han tenido en cuenta las necesidades para nitrificación. En nuestro país, sobre todo en época veraniega y gracias a las altas temperaturas atmosféricas es frecuente que se produzcan fenómenos de nitrificación, obligados por la forma de operar la planta o bien involuntarios.

En algunos tratamientos biológicos, dotados de equipamientos para efectuar procesos, al menos parciales, de nitrificación-desnitrificación, es preciso tener en cuenta las necesidades adicionales de oxígeno requeridas para oxidar el amonio.

C.. EPA (Manual “Nitrogen Removal Control”

Este organismo recomienda utilizar:

Kg. O<sub>2</sub>/día necesarios para nitrificar = 4,6 Kg. TRN reducidos/día.

siendo:

TKN: Nitrógeno total medido según el ensayos Kjeldal

Hacemos notar que para nitrificación casi-completa, con los valores estándar de contenido de TKN en el agua de entrada, las necesidades de oxígeno para nitrificación son equivalentes a las requeridas para reducir la DBO.

## 1.2. Demanda real de oxígeno

Dado que estos volúmenes de oxígeno, así calculados por alguno de los métodos descritos, son necesidades en condiciones reales y que los aportes específicos de los sistemas de aireación vienen referidos a condiciones estándar de laboratorio o

ensayo, se hace necesario conocer la capacidad de oxigenación (OC) que viene referida por la siguiente fórmula:--

$$OC = O_R \cdot \frac{C_{SS}}{C_S - C_L} \sqrt{\frac{D_{SS}}{D_T} \cdot \frac{P_O}{P_H} \cdot \frac{I}{\alpha}}$$

donde:

OC = Capacidad de oxigenación.

$O_R$  = Aporte de oxígeno realmente requerido.

$C_{SS}$  = Concentración de saturación de oxígeno en agua pura a 10° C (11,33 mg/l.).

$C_s$  = Concentración de saturación de oxígeno en la cuba biológica a la temperatura del licor de mezcla.

$C_L$  = Concentración a mantener en el licor de mezcla (entre 1 y 2 mg./l.).

$D_{SS}$  = Coeficiente de difusión a 10° C.

$D_T$  = Coeficiente de difusión a T° C.

$P_O$  = Presión atmosférica estándar 760 mm. Hg.

$P_H$  = Presión atmosférica a la altitud de la E.D.A.R.

$\alpha$  = Coeficiente de intercambio entre licor de mezcla y agua pura:

$\alpha = 0,9$  aireadores de superficie

$\alpha = 0,6$  a  $0,7$  para burbuja fina

Se puede observar que:

- ◆ Las necesidades de oxígeno varían en función de la temperatura, pero de forma regular irregular. De tal manera que son mayores entre 25°C y 35°C, disminuyendo fuera de este intervalo.

- ♦ A medida que aumenta la altitud se incrementan las necesidades de oxígeno.
- ♦ Las necesidades de oxígeno disminuyen sensiblemente al disminuir el nivel de oxígeno disuelto que se debe mantener en las cubas de aireación.

### 1.3. Aportaciones de los sistemas de aireación

Los diferentes sistemas o máquinas de aireación se clasifican de acuerdo a un parámetro simple pero eficaz, cual es el denominado “Aportación específica”. Se define como la cantidad de oxígeno que el sistema de aireación es capaz de transferir al agua, en condiciones estándar, por unidad de potencia absorbida; es decir:

$$\frac{\text{Kg O}_2}{\text{KW} \cdot \text{h}} \quad \begin{array}{l} \text{(Kilogramos de oxígeno)} \\ \text{(Kilowatios/hora)} \end{array}$$

según que la potencia medida sea la absorbida de la red eléctrica o la absorbida en el eje de l aireador, se habla de aportación específica bruta o neta.

La aportación específica nominal neta es:

- Para aireadores superficiales: 1,8 a 2,1 Kg O<sub>2</sub>/KWh
- Para difusores de burbuja fina: 3 a 3,5 Kg O<sub>2</sub>/KWh
- Para difusores de burbuja gruesa: 1,5 a 1,8 kgO<sub>2</sub>/KWh

Hay que tener presente que el factor de rendimiento de motoreductor puede variar de 0,85 a 0,95.

#### 1.4. Regulación del aporte de oxígeno

Un aspecto trascendente en el consumo de oxígeno y, por tanto, de energía es el de CONTROL o REGULACIÓN.

Es una máxima del explotador el que el “Oxígeno transferido debe adaptarse, en la mayor medida posible, a la demanda del reactor biológico”.

Es evidente que el nivel de O<sub>2</sub> disuelto no debe ser ni muy bajo o nulo, lo que haría inviable el proceso de síntesis biológico, ni excesivamente elevado, pues, en este caso, además de poderse provocar problemas en la sedimentación del fango, se produce un gasto superfluo de energía.

En la práctica, valores entre 1 y 2 mg/l se consideran como puntos de consigna para el control.

El control de la regulación del nivel de oxígeno puede ser:

- Temporizado.
- Automático.

En el primero, el control se efectúa mediante el conocimiento histórico de las curvas diarias de demanda de oxígeno.

En la forma de control automático, la regulación se efectúa a través de la medida directa del oxígeno disuelto mediante un instrumento industrial. Gracias al desarrollo de la técnica, hoy en día este tipo de instrumentos son seguros, prácticos y eficaces, por lo que su empleo se está extendiendo ante los ahorros económicos que se producen.

Desde el punto de vista del accionamiento de los sistemas de aireación se pueden clasificar los siguientes tipos de control:

- Marcha o parada
- Escalonado

- Continuo

La regulación mediante “marcha y parada de los aireadores es la más sencilla y económica, aunque no sea, evidentemente, la más óptima. Es una regulación brusca (todo o nada) pero puede ser eficaz en E.D.A.R. de pequeño tamaño.

La regulación “escalonada” es una “marcha parada” cuando la instalación tiene un número importante de equipos de aireación, o bien los equipos son de doble velocidad.

En equipos de aireación superficial se utilizan motores de doble velocidad (con relación 3:2). Es preciso asegurarse que la potencia a baja velocidad es suficiente para mantener la agitación requerida.

La regulación de velocidad variable requiere para aireadores superficiales y soplantes Root el empleo de variadores de velocidad, usualmente de tipo electrónico, mediante modificación de la frecuencia. Para sistemas de difusión de aire se pueden emplear turbosoplantes de alabes regulables.

El empleo de este tipo de dispositivos se reduce a plantas de gran capacidad, donde la relación coste de inversión beneficio en explotación se considere adecuado.

**VALORES DE LOS PARAMETROS EMPIRICOS DE DEMANDA DE OXIGENO**

$C_m$	$\leq 0,05$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	$\geq 0,5$
a	0,66	0,652	,0625	0,590	0,572	0,555	0,53	0,5

(Kg O<sub>2</sub>/Kg DBO<sub>5</sub>)

$K_{re}$  = coeficiente de respiración endógena. Pueden utilizarse los siguientes valores:

$C_m$	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00
$K_{re}$	0,041	0,067	0,080	0,092	0,100	0,109	0,118	0,123	0,128	0,131	0,133	0,136

(Kg O<sub>2</sub>/Kg MLSS/día)**VALORES DE TÉRMINO**

$$\sqrt{\frac{D_{10}}{D_T}}$$

T°C	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\frac{(D_{10})^{1/2}}{D_T}$	1,0977	1,0774	1,0575	1,0380	1,0188	1,0000	0,9815	0,9634	0,9456	0,9281
T°C	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\frac{(D_{10})^{1/2}}{D_T}$	0,9110	0,849	0,8776	0,8614	0,8455	0,8299	0,8145	0,7995	0,7847	0,7702

**SOLUBILIDAD DEL OXÍGENO DISUELTO**

Oxígeno disuelto mg/l.

INTERVALO DE TEMPERATURA °C	Concentración de cloruros, mg/l.				
	0	5.000	10.000	15.000	20.000
0	14,62	13,79	12,97	12,14	11,32
1	14,23	13,41	12,61	11,82	11,02
2	13,84	13,05	12,28	11,52	10,76
3	13,48	12,12	11,98	11,24	10,50
4	13,13	12,41	11,69	10,97	10,25
5	12,80	12,09	11,39	10,70	10,01
6	12,48	11,79	11,12	10,45	9,78
7	12,17	11,51	10,85	10,21	9,57
8	11,87	11,24	10,61	9,98	9,36
9	11,59	10,97	10,36	9,76	9,17
10	11,33	10,73	10,13	9,55	8,98
11	11,08	10,49	9,92	9,35	8,80
12	10,83	10,28	9,72	9,17	8,62
13	10,60	10,05	9,52	8,98	8,46
14	10,37	9,85	9,32	8,80	8,30
15	10,15	9,65	9,14	8,63	8,14
16	9,95	9,46	8,96	8,47	7,99
17	9,74	9,26	8,78	8,30	7,84
18	9,54	9,07	8,62	8,15	7,70
19	9,35	8,89	8,45	8,00	7,56
20	9,17	8,73	8,30	7,86	7,42
21	8,99	8,57	8,14	7,71	7,28
22	8,83	8,42	7,99	7,57	7,14
23	8,68	8,27	7,85	7,43	7,00
24	8,53	8,12	7,71	7,30	8,67
25	8,38	7,96	7,56	7,15	6,75
26	8,22	7,81	7,42	7,02	6,61
27	8,07	7,67	7,28	6,38	6,49
28	7,92	7,53	7,14	6,75	6,37
29	7,77	7,39	7,00	6,62	6,25