

2

GUÍAS BÁSICAS DE MEDIO AMBIENTE

**CONTROL
Y
TRATAMIENTO
DE LAS AGUAS
EN LA
INDUSTRIA**



ITSEMAP AMBIENTAL

832.2
CON
CON

ÍNDICE

	<i>Pág.</i>
Introducción	5
1. Control sobre el caudal del vertido final	5
2. Sistemas de tratamiento y depuración de las aguas en la industria	7
3. Recomendaciones	19
4. Bibliografía	20

INTRODUCCIÓN

El agua como un factor más e intrínseco a la producción industrial, una vez utilizada pasa a convertirse en un residuo que es preciso controlar y tratar, principalmente por los motivos siguientes:

- En España, como miembro de la Unión Europea, se ha impuesto un primer criterio «quien contamina paga».
- Disminuir la magnitud de los gastos relacionados con el uso del agua ha orientado la recomposición de muchos procesos industriales, comenzando con el inventario de los vertidos y el análisis de su posible reducción, para concluir con planteamientos sobre el empleo de las aguas después de su tratamiento, ya que una depuración suficiente puede significar la reutilización de importantes volúmenes de agua con el correspondiente ahorro. Se llega, por tanto, al segundo criterio, directamente encauzado con el desarrollo sostenible a nivel global, «más vale prevenir».

Dentro de la colección de manuales sobre el uso del agua en la industria, el presente apunta ideas básicas sobre los conceptos de control del vertido final y los tratamientos de depuración del agua en sus distintas utilidades, aspectos fundamentales en una adecuada gestión integral de la industria.

1. CONTROL SOBRE EL CAUDAL DEL VERTIDO FINAL

El control del caudal que constituirá el vertido final implica desarrollar procesos de minimización encaminados a la disminución del volumen y la concentración de los contaminantes del agua residual.

Así pues, dentro de la gestión industrial de los desechos generados, el primer paso es la minimización de los mismos, es decir, la adopción de medidas organizativas y operativas que permitan disminuir, hasta niveles económica y técnicamente factibles, la cantidad y peligrosidad de los subproductos y contaminantes que precisan de un tratamiento o eliminación, ya en una segunda etapa que suele ser más costosa.

Existe unanimidad a nivel técnico en que la minimización constituye la opción prioritaria ambientalmente para resolver el problema de los efluentes contaminados, además de una oportunidad económica para reducir los costes productivos, logrando otras mejoras inducidas, entre ellas el aumento de la competitividad.

De forma general éstas pueden ser las pautas principales de control, que han de adaptarse específicamente a cada proceso productivo y a las peculiaridades propias de la industria.

1.1. Disminución del volumen de vertido

La primera consideración a tener en cuenta para reducir costes desde el agua de abastecimiento hasta los cánones administrativos o en el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas es, lógicamente, disminuir el volumen del vertido. Esto se puede conseguir planteándose los siguientes sistemas.

DISMINUCIÓN DEL VOLUMEN DE VERTIDO	
Procedimientos	Características
<ul style="list-style-type: none"> • Separación de vertidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los vertidos a separar son los procedentes de los procesos de fabricación, de las aguas de refrigeración y de los usos sanitarios.
<ul style="list-style-type: none"> • Retención de aguas residuales. 	<ul style="list-style-type: none"> • La retención de las aguas residuales se realiza recirculándolas, de modo que se consigue un aumento en la concentración de los contaminantes con lo que se depurará un menor volumen.
<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algunas medidas son: mejoras en el control del proceso y los equipamientos, utilización de materias primas diferentes o de mejor calidad, mantenimiento preventivo, etc.
<ul style="list-style-type: none"> • Reutilización de vertidos urbanos e industriales como agua bruta. 	<ul style="list-style-type: none"> • El agua se emplea para dos funciones sucesivas y diferentes en circuito abierto habiendo entre ellas una fase de toma o de tratamiento. La segunda utilización suele ser menos exigente que la primera.
<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de las descargas intermitentes de los procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para reducir los efectos de las descargas se pueden utilizar dos métodos: modificar la frecuencia y la magnitud de las descargas o detenerlas en depósitos almacenadores a partir de los cuales fluyan continua y uniformemente.
<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas concretas para el ahorro de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalar contadores cada departamento, regular la presión para evitar pérdidas, utilizar controles termostáticos, instalar válvulas automáticas, eliminar las incrustaciones en los intercambiadores de calor, aislar las conducciones, vigilar las pérdidas, emplear un control centralizado, recircular el agua de enfriamiento, usar surtidores de gran presión y bajo volumen en labores de limpieza, etc.

1.2. Reducción de la contaminación

La reducción del poder contaminante es un objetivo principal para la industria que se preocupa por la calidad de sus vertidos. Cualquier acción encaminada a disminuir la materia contaminante representa una merma en las necesidades de tratamiento y directamente de los costes de inversión total.

El poder de contaminación de los vertidos se puede disminuir mediante cambios en el proceso, modificaciones en el equipo industrial, segregación de vertidos, mezcla de los mismos, recuperación de subproductos y manejo final del vertido.

A continuación se comentan los más generales.

REDUCCIÓN DEL PODER CONTAMINANTE	
Procedimientos	Características
<ul style="list-style-type: none">• Segregación de vertidos.	<ul style="list-style-type: none">• Obteniéndose normalmente uno concentrado de pequeño volumen y otro débil de prácticamente el mismo volumen que el vertido original sin separar.
<ul style="list-style-type: none">• Mezcla de vertidos. Igualación.	<ul style="list-style-type: none">• Consiste en retener a los vertidos en depósitos de mezcla hasta obtener un conjunto lo suficientemente uniforme para que el tratamiento siguiente sea más fácil y eficiente, y como efecto secundario puede darse una disminución en la concentración de los contaminantes.
<ul style="list-style-type: none">• Recuperación de subproductos.	<ul style="list-style-type: none">• Eliminar los subproductos, que normalmente se encuentran en bajos porcentajes, antes de la depuración, obteniendo así un producto comerciable.
<ul style="list-style-type: none">• Relación entre vertido y caudal del cauce receptor. Proporcionalidad.	<ul style="list-style-type: none">• Este sistema significa la descarga de los vertidos industriales en proporción al caudal de la corriente receptora, sea ésta un cauce natural o un colector de aguas residuales urbanas. Suele combinarse con la igualación en el mismo depósito.
<ul style="list-style-type: none">• Control de los vertidos.	<ul style="list-style-type: none">• El control en continuo de los parámetros que caracterizan el vertido debe incluirse dentro del sistema automático general de control de toda la planta, para parar, reducir o recircular el caudal del vertido en el momento adecuado.

2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DEPURACIÓN DE LAS AGUAS EN LA INDUSTRIA

En ocasiones será preciso un tratamiento previo de las aguas de aportación que garantice la calidad establecida para los diferentes usos industriales y, por tanto, el correcto funcionamiento de las instalaciones.

El agua no adecuada para seguir utilizándola, la residual, tiene regulados por la administración los valores máximos de concentración permitidos para los contaminantes que presenta, necesitando en la mayoría de los casos tratamientos depurativos en la propia planta. Con posterioridad, este agua residual industrial será vertida bien al colector municipal, donde será tratada con las aguas residuales urbanas, o bien directamente al cauce público.

2.1. Criterios generales en la selección de un tratamiento de aguas

En la elección del proceso de depuración más adecuado a las necesidades propias de una industria, hay que considerar los puntos siguientes:

- La calidad del agua disponible.
- La calidad del agua exigida en el proceso.
- Los límites establecidos por la administración en cuanto a los parámetros definidores del vertido final.

Debido a que el enfoque del tratamiento es claramente diferente, se destacan dos tipos de aguas fundamentalmente, las que entran en la industria y las evacuadas desde ella.

2.1.1. Aguas de entrada a la planta industrial

Las aguas naturales rara vez se encuentran en condiciones de ser utilizadas directamente en los procesos industriales, tanto si se destinan a la generación de vapor, se emplean como medio de refrigeración o van a ser consumidas directamente en el proceso. La elección del óptimo tratamiento requerirá conocer la calidad del agua disponible que puede tener diferente procedencia –red municipal o captación superficial o subterránea–, además de la exigida por cada uso concreto, por lo que deberá llevarse a cabo la toma de muestras y su analítica.

Es aconsejable efectuar un tratamiento general encaminado, en primer término, a la protección de la red de distribución, constituyendo una fase inicial de tratamiento e incluso suficiente para alguno de los usos.

En el caso de que la captación sea de aguas superficiales pueden presentarse dos problemas fundamentales, que son la obstrucción de orificios o

tuberías, que puede evitarse mediante un tamizado o desbaste con rejas, y la formación de lodos o sedimento de un mucílago aislante de carácter orgánico o con hidróxidos metálicos, que pueden eliminarse con un tamizado o un desarenado, etc.

Si se emplean aguas de pozo existen dos riesgos principales, la abrasión y la corrosión, que pueden solventarse con sistemas de tamizado y oxigenación, respectivamente.

A continuación y a modo de ejemplo se compara el coste de acondicionamiento del agua mediante dos sistemas diferentes de desmineralización (MESEGUER, 1994).

COSTES DE ACONDICIONAMIENTO DE AGUA			
Proceso	Calidad inicial (salinidad en p.p.m.)	Requerimientos ($\mu\text{s/cm}$)	Costes (ptas/m³)
Intercambio iónico	3.000	50	167,8
	1.000	50	102,5
	750	50	68,7
Osmosis inversa	3.000	200	45,5
	1.000	200	38,7
	750	200	35,3

2.1.2. Aguas residuales de la planta industrial

El agua que ya ha sido empleada por la industria no sólo no tiene valor en cuanto a su utilidad, porque no puede ser reciclada ni reutilizada por más tiempo, sino que añade a los costes de producción los del ajuste de los parámetros del vertido a los límites impuestos por la administración, es decir, los del pretratamiento o tratamiento de las aguas residuales además de las cargas económicas impuestas como canon de vertido. De ahí la importancia de la minimización del gasto de agua.

Los sistemas de depuración se basan en operaciones físicas junto con procesos químicos y biológicos. Una vez elegido el sistema más adecuado se dimensiona la depuradora comenzando por un inventario de efluentes, con caudales instantáneos y medios, así como de las pérdidas, fugas, infiltraciones desde el exterior, etc., que afectarían a la capacidad de tratamiento.

Los factores siguientes influyen en el tratamiento del agua residual:

- Caudal, composición y concentración de los parámetros del vertido.
- Características requeridas en el efluente en función del cauce o conducto colector que sea receptor del vertido.
- Abundancia del agua próxima a la planta industrial para ser captada.
- Posibilidades de reutilización.
- Posibilidad de vertido a una depuradora municipal.
- Tasas de vertido, etc.

2.2. Tratamiento del agua de refrigeración

Normalmente, el agua de refrigeración no entra en contacto directo con el material a enfriar, sino que el intercambio de calor se realiza a través de una pared, en general metálica, buena conductora del calor.

Los problemas que surgen en las instalaciones de refrigeración son la corrosión, las incrustaciones, el crecimiento microbiológico y los depósitos de fangos.

Los aditivos para evitar estos problemas se suelen añadir con frecuencia de forma continua, en función del nivel de concentración de los componentes del agua de aporte y según el tipo de instalación.

- Los inhibidores de la corrosión se clasifican según las reacciones que controlen en catódicos o anódicos, y atendiendo al mecanismo de actuación pueden reaccionar con el agente corrosivo, formar una película protectora o propiciar la formación de una película de óxido del propio metal que se intenta proteger.
- En el caso de las incrustaciones lo aconsejable es controlar los valores de pH y añadir estabilizantes (polifosfatos y fosfatos) de forma combinada.
- La adición de biocidas puede seguir programas irregulares, a veces dosis continuas o dosis de choque periódicas, para contrarrestar la adaptación de los microorganismos a los fenómenos regulares.

2.3. Tratamiento del agua para calderas

Los procedimientos para la depuración del agua de aportación y para el acondicionamiento del agua de la caldera, han de elegirse de forma que

se reduzcan y eviten los principales problemas asociados a la generación de vapor (como sucedía en el caso anterior), que son la formación de incrustaciones, la corrosión y los arrastres, y vendrán determinados por las normas de seguridad, las especificaciones del fabricante junto con un estudio económico de los costes de inversión y operación. Para contrarrestar el efecto de los contaminantes residuales se añaden además los aditivos químicos apropiados.

La alimentación de una caldera debe realizarse con un agua totalmente desendurecida, para lo cual, en las de baja presión se utilizan intercambiadores de iones, en las de alta suele ser conveniente llevar a cabo una desmineralización total y en las intermedias se combina la descarbonatación, la eliminación de sílice y el desendurecimiento.

El elemento de control de la calidad del agua en el ciclo de vaporización-condensación es la purga de una parte del agua del calderín, para mantener las concentraciones máximas admisibles.

2.4. Tratamiento de aguas residuales

Los procesos industriales generan una gran variedad de aguas residuales que pueden tener orígenes muy distintos: agua usada como medio de transporte, en el lavado y enjuague, en las transformaciones químicas usada como disolvente, como subproducto de procesos físicos de filtración o destilación, como medio de transporte de calor, etc.

Con independencia del posible contenido en contaminantes similares a los vertidos de origen doméstico, pueden aparecer elementos propios de cada actividad industrial, en forma disuelta o en suspensión, según su naturaleza química ser orgánicos o inorgánicos o tratarse de microorganismos. Cabe citar los iones metálicos, productos químicos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, etc. La aparición en el vertido de algunos de ellos, especialmente metales pesados y ciertas sustancias orgánicas, está sometido a severas restricciones, y para algunas industrias se requieren autorizaciones basadas en estudios de impacto ambiental.

El objetivo de cualquier tratamiento es, pues, eliminar los componentes molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente, en el sentido más amplio del término, y ajustar la calidad del agua vertida a las especificaciones legales.

Para tener una referencia de los parámetros de las aguas residuales industriales que precisan tratamiento, en las tablas adjuntas se detallan los con-

taminantes más comunes en diferentes tipos de industrias, así como la cuantificación de los vertidos de un grupo de ellas.

SUSTANCIAS CONTAMINANTES DETECTADAS CON FRECUENCIA EN DIVERSOS TIPOS DE INDUSTRIAS		
Industria	Contaminantes primarios	Contaminantes secundarios
Acabado de superficies metálicas.	DQO, aceites y grasas, metales pesados, sólidos en suspensión (SS), cianuros.	
Aluminio.	SS, cloruros, fluoruros, fósforo, aceites y grasas, pH.	Sólidos disueltos totales (SDT), fenoles, aluminio.
Asbestos.	DBO ₅ , DQO, pH, SS.	Cromatos, fosfatos, sulfito, SDT.
Automóvil.	SS, aceites y grasas, DBO ₅ , cromo, fósforo, cianuros, cobre, níquel, hierro, zinc, fenoles.	DQO, cloruros nitratos, amoníaco, sulfatos, estaño, plomo, cadmio, SDT.
Azucareras.	DBO ₅ , pH, SS, sólidos sedimentables (SSE), coliformes totales, aceites y grasas, sustancias tóxicas.	Alcalinidad, nitrógeno total, temperatura, SDT, color, turbidez, espumas.
Bebidas.	DBO ₅ , pH, SS, SSE, coliformes totales, aceites y grasas, sustancias tóxicas.	Nitrógeno, fósforo, temperatura, color, SDT, turbidez, espumas.
Celulosa y papel.	DBO ₅ , DQO, carbono orgánico total, pH, SS, coliformes fecales y totales, color, metales pesados, sustancias tóxicas, turbidez, amoníaco, aceites y grasas, fenoles, sulfito.	Nutrientes (nitrógeno y fósforo), SDT.
Cemento, hormigón, calces y yeso.	DQO, pH, SS, temperatura.	Alcalinidad, cromatos, fosfatos, zinc, sulfito, SDT.
Conservas vegetales.	DBO ₅ , DQO, pH, SS.	Color, coliformes fecales, fósforo, temperatura, carbono orgánico total, SDT.
Curtido, acabado de pieles y cueros.	DBO ₅ , DQO, cromo total, grasas, pH, SS, sólidos totales (ST).	Alcalinidad, color, dureza, nitrógeno, cloruro sódico, temperatura, toxicidad.

**SUSTANCIAS CONTAMINANTES DETECTADAS CON FRECUENCIA
EN DIVERSOS TIPOS DE INDUSTRIAS (Continuación)**

Industria	Contaminantes primarios	Contaminantes secundarios
Fertilizantes fosfatados.	Calcio, SDT, fluoruros, pH, fósforo, SS, temperatura.	Acidez, aluminio, arsénico, hierro, mercurio, nitrógeno, sulfato, uranio.
Fertilizantes nitrogenados.	Amoníaco, cloruros, cromo total, SDT, nitratos, sulfatos, SS, urea, zinc.	Calcio, DQO, hierro, aceites y grasas, pH, fosfatos, sodio, temperatura.
Generación de vapor y centrales térmicas.	DBOs, cloruros, cromatos, aceites, pH, fosfatos, SS, temperatura.	Boro, cobre, hierro, zinc, SDT, compuestos orgánicos no degradables.
Granjas de ganado.	DBOs, DQO, Sólidos totales (ST), pH.	Coliformes fecales, nitrógeno, fosfatos, carbono orgánico total.
Industria del acero.	Aceites y grasas, pH, cloruros, sulfato, amoníaco, cianuros, fenoles, SS, hierro, estaño, temperatura, cromo, zinc.	
Industria láctea.	DBOs, DQO, pH, SS.	Cloruros, color, nitrógeno, fósforo, temperatura, carbono orgánico total, toxicidad, turbidez.
Industria textil.	DBOs, DQO, pH, SS, cromo, compuestos fenólicos, sulfuros alcalinidad.	Metales pesados, color, aceites y grasas, SDT, temperatura, sustancias tóxicas.
Materiales plásticos y fibras sintéticas.	DBOs, DQO, pH, aceites y grasas, fenoles, SS.	SDT, sulfatos, fósforo, nitratos, nitrógeno orgánico, amoníaco, cianuros, aditivos y sustancias tóxicas, aromáticos polinucleares, zinc, mercaptanos.
Molienda de grano.	DBOs, SS, temperatura.	DQO, pH, SDT.
Productos cárnicos.	DBOs, pH, SS, SSE, aceites y grasas, coliformes totales, sustancias tóxicas.	Amoníaco, turbidez, SDT, fosfatos, color.
Química inorgánica cloro-sosa.	Acidez-alcalinidad, ST, SS, SDT, cloruros, sulfatos.	DBOs, DQO, carbono orgánico total, aromáticos polinucleares, fenoles, fluoruros, silicatos, fósforo, cianuros, mercurio, cromo, plomo, titanio, hierro, aluminio, boro, arsénico, temperatura.

**SUSTANCIAS CONTAMINANTES DETECTADAS CON FRECUENCIA
EN DIVERSOS TIPOS DE INDUSTRIAS (Continuación)**

Industria	Contaminantes primarios	Contaminantes secundarios
Química orgánica.	DBOs, DQO, pH, SS, SDT, aceites flotantes.	Carbono orgánico total, cloruros orgánicos, fósforo total, metales pesados, cianuros, nitrógeno total.
Refinerías de petróleo.	Amoníaco, DBOs, DQO, aceites, pH, fenoles, sulfuros, SS, SDT, temperatura, cromo.	Cloruros, color, cobre, cianuros, hierro, plomo, mercaptanos, nitrógeno, olores, fósforo, sulfatos, carbono orgánico total, toxicidad, turbidez, sólidos suspensión volátiles, zinc.
Vidrio plano.	DQO, pH, fósforo, sulfato, SS.	DQOs, cromatos, zinc, cobre, cromo, hierro, estaño, plata, nitratos, resinas sintéticas, SDT, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas.

CUANTIFICACIÓN DE ALGUNOS VERTIDOS INDUSTRIALES (HERNÁNDEZ, 1990)

Actividad	Producto	Observaciones
Fabricación pasta de papel.	Pastas papeleras 190 x 10 ³ t/año	Vertidos de líquidos procedentes de manufactura de la pulpa y elaboración de papel.
	Pastas químicas de madera 260 x 10 ³ t/año	
	Otras pastas 560 x 10 ² t/año	
Lavaderos de carbón y otros minerales.	Hierro 2.900 x 10 ³ t/año	Agua de lavado y procesos de minerales, aguas ácidas que escurren o se bombean de las minas.
	Cobre 10 x 10 ³ t/año	
	Plomo 76 x 10 ³ t/año	
	Antracita 3.300 x 10 ³ t/año	
	Hulla 12.200 x 10 ³ t/año	
	Lignito 3.180 x 10 ³ t/año	
	Turba 15 x 10 ³ t/año	
Textiles.	Producción total 260 x 10 ³ t/año	Vertidos fuertemente alcalinos o ácidos, coloración de las aguas. Materias orgánicas fermentables. Productos grasos y álcalis.

Actividad	Producto	Observaciones
Curtidos.	Vacunos, equinos, suelas, cueros, badanas, pastas, pieles semicurtidas y subproductos 29 x 10 ³ t/año Boxcalf y otros 25.000 x 10 ³ t/año Pieles cordero, pieles peleterías, conejos y varias 5.000 x Ud/año	Productos amoniacales y cal. Restos de las máquinas apelambraderas. Lavado de descarnado y escurrido. Licor tánico. Ácidos y álcalis. Sales metálicas y sulfuros.
Conservera y alimentaria.	Hortofrutícola 700 x 10 ³ t/año Pesca 230 x 10 ³ t/año	Partículas sólidas. Materia orgánica. Grasas.
Fermentación.	Aguardiente de caña 1.400 x 10 ³ t/año Alcoholes varios 62.000 x 10 ³ t/año Levaduras 52.000 x 10 ³ t/año Cervezas 1.200.000 x 10 ³ t/año	Materia orgánica. Gramos agotados de cerveceras y destilerías.
Siderometalúrgicas.	Producción acero Bessemer 250 x 10 ³ t/año Siemens 1.800 x 10 ³ t/año Alto horno 1.500 x 10 ³ t/año Otros 600 x 10 ³ t/año	Ácidos. Iones metálicos. Cianuros. Cromatos.
Químicas. Farmacéuticas.	Abonos 2.100 x 10 ³ t/año Plaguicidas 90 x 10 ³ t/año Alcaloides 70 x 10 ³ t/año Antibióticos 200 t/año Glándulas 300 t/año Extractos vegetales 120 t/año Vitaminas A 4.000 x 10 ³ MVI/año Otras vitaminas 15 ³ t/año Inorgánicos 13 x 10 ³ t/año Orgánicos 3 x 10 ³ t/año Envases especiales de las farmacéuticas 1.700 x 10 ⁶ Ud/año	Contaminación orgánica. Iones metálicos. Productos tóxicos. Espumas.
Lácteas.	Leche oveja 3.800 t/año Vaca 1.200.000 t/año	Aguas de lavado de botellas, tuberías. Equipos y pisos. Partículas coloidales. Materia orgánica muy fermentable.

Actividad	Producto	Observaciones
Aceites.	Moltración de semillas 1.200 x 10 ³ t/año	Fuerte D.B.O. Partículas coloidales. Grasas.
	Refinería de aceite vegetal 400 x 10 ³ t/año	
	Refinería de aceite de pescado 6 x 10 ³ t/año	
	Otros de aceites, grasas, jabones y derivados 720 x 10 ³ t/año	

Cada uno de los tipos de tratamiento, físico, químico y biológico se basa en principios diferentes y se desarrolla por medio de procedimientos específicos. La depuración de los efluentes industriales será una secuencia de estos procesos, producto de la combinación que más se adecue a las necesidades de la planta.

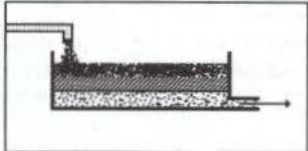
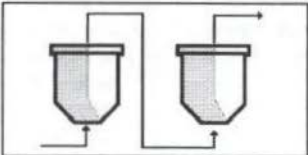
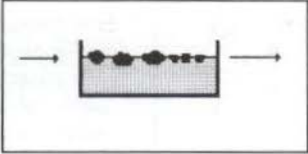
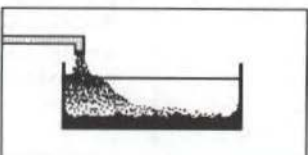
Características	T. físico-químicos	T. biológicos
• Costes de reactivos elevados.	XXX	
• Grandes consumidores de energía.		XXX
• Necesidad de materia orgánica, nutrientes y ausencia de sustancias tóxicas o inhibidoras.		XXX
• Puesta en marcha rápida, posibilidad de ajustes con capacidad y operación intermitentes.	XXX	
• Generación de gran cantidad de lodos.	XXX	

De manera general y a modo de ejemplo a continuación se proporcionan algunos datos sobre el **Coste de Depuración (ptas/m³)** (MESEGUER, 1994).

Tratamientos	Energía reactivos personal	Amortización planta	Fangos depurad.	Total
Físico-químico.	25/70	20/90	10/18	55/178
Biológico.	25/60	30/90	3/6	58/156

2.4.1. Tratamientos físicos

El principio con el que operan estos tratamientos se lleva a cabo por medio de o a través de la aplicación de las fuerzas físicas.

TRATAMIENTOS FÍSICOS		
Procesos	Descripción	Esquema
Filtración.	<ul style="list-style-type: none">El agua residual pasa a través de un elemento filtrante donde quedan retenidos los sólidos en suspensión.	
Adsorción.	<ul style="list-style-type: none">Las partículas en suspensión al entrar en contacto con la superficie del adsorbente son atraídas por fuerzas electrostáticas o electrocinéticas.	
Flotación.	<ul style="list-style-type: none">Se emplea para separar sólidos en suspensión finamente divididos, y partículas con densidades cercanas a la del agua, introduciendo burbujas finas de gas (aire) a las que se adhieren, formando un conjunto ascendente.	
Sedimentación.	<ul style="list-style-type: none">Es la separación de las partículas suspendidas más pesadas que el agua mediante la acción de la gravedad.	

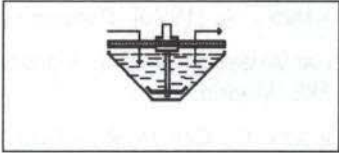
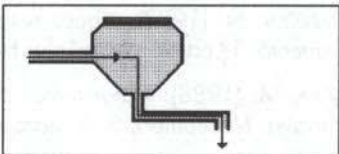
2.4.2. Tratamientos químicos

Los tratamientos químicos se realizan mediante procesos que tienen como principio la aplicación de aditivos, para llevar a cabo reacciones químicas en la eliminación de los coloides, frente a los dos tratamientos que pueden describirse como sustractivos.

TRATAMIENTOS QUÍMICOS		
Procesos	Descripción	Esquema
Coagulación y floculación.	<ul style="list-style-type: none"> En la coagulación se desestabilizan los coloides en suspensión al neutralizarse sus cargas y posteriormente se agrupan formando floculos capaces de ser retenidos. 	
Oxidación-reducción.	<ul style="list-style-type: none"> Son reacciones en las que se produce un intercambio de electrones (incremento-reducción y pérdida-oxidación) por lo que se modifica el estado de ciertos metales o compuestos con objeto de hacerlos insolubles o no tóxicos. 	
Electroforesis.	<ul style="list-style-type: none"> Es el desplazamiento de la disolución coloidal en un campo eléctrico, de modo que los componentes cargados negativamente se dirigen al ánodo y los positivos al cátodo. 	
Neutralización.	<ul style="list-style-type: none"> Los valores de pH alejados de la neutralidad pueden ser ajustados a ésta por medio de sales. 	

2.4.3. Tratamientos biológicos

El principio en el que se basan todos los tipos de procedimientos biológicos, es el hecho de que las transformaciones químicas tienen lugar por la acción metabólica de los microorganismos. De este modo se produce una coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables, la estabilización de la materia orgánica y la eliminación de nutrientes.

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS		
Procesos	Descripción	Esquema
Aerobios.	<ul style="list-style-type: none">Se producen en presencia de oxígeno disuelto. <p>Materia orgánica + microorganismos + O₂ → Nuevos microorganismos + Energía.</p>	
Anaerobios.	<ul style="list-style-type: none">Son los procesos que se dan en ausencia de oxígeno disuelto. <p>Materia orgánica + microorganismos → CO₂ + H₂O + CH₄ + SH₂ + Productos de degradación + Nuevos microorganismos.</p>	

3. RECOMENDACIONES

A continuación se resumen los aspectos más importantes para tener en cuenta en el control y tratamiento del agua en la industria.

- La minimización del vertido final implica una disminución del volumen vertido y la concentración de los contaminantes.
- Es conveniente considerar la calidad del agua disponible, la exigida en el proceso y los límites establecidos por la administración en cuanto a los parámetros definidores del vertido final, a la hora del planteamiento de los sistemas de tratamiento y depuración de las aguas.

- Los principales problemas de las aguas de refrigeración y las empleadas para calderas son las incrustaciones, las corrosiones, los arrastres y los microorganismos.
- Las aguas residuales industriales tienen tres formas de tratamientos según el proceso industrial de la planta, físicos, químicos y biológicos, que se combinarán para alcanzar la depuración más conveniente en la que se equilibren costes y resultados.

4. BIBLIOGRAFÍA

- DEGREMONT (1979): *Manual técnico del agua*, 4ª edición, Degremont. Bilbao.
- HERNÁNDEZ, A. (1990): *Depuración de aguas residuales*, Paraninfo, S. A. Madrid.
- ITSEMAP AMBIENTAL (1994): *Manual de Contaminación Ambiental*, Fundación MAPFRE. Madrid.
- MESEGUER, C.; CABEZA, R., y COLL, M. (1994): «El agua como factor de competitividad en la industria de Cataluña». *Tecnología del Agua*, nº 127.
- METCALF & EDDY, Inc. (1985): *Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*, 2ª edición, Labor, S. A. Barcelona.
- NEMEROW, N. (1977): *Aguas residuales industriales. Teorías, aplicaciones y tratamiento*, 1ª edición española, Hermann Blume Ediciones. Madrid.
- RIGOLA, M. (1988): *Tratamientos de aguas industriales: Aguas de proceso e industriales*, Marcombo, S. A. Barcelona.