



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS
E INGENIERÍA**

**LICENCIATURA EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES”**

MONOGRAFÍA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE INGENIERO INDUSTRIAL**

P R E S E N T A

P.D.I.I. AMÍLCAR MUÑOZ CRUZ

DIRECTOR: M. en I. MARIO SÁENZ PIÑA

MINERAL DE LA REFORMA, HGO., JUNIO DE 2008



JUSTIFICACIÓN

El agua es la más abundante e importante sustancia que el hombre utiliza, debido a las enormes cantidades que se requieren para las distintas aplicaciones que se le dan como son: el consumo doméstico, público, agrícola, industrial entre otros; también es el recurso natural más descuidado, afectado y desperdiciado debido a su relativa abundancia y a la facilidad con que es desechada; a esto le podemos sumar el poco o nulo tratamiento que se le da una vez que es utilizada; llevándose consigo una infinidad de materiales, sustancias, residuos, microorganismos y otros agentes contaminantes que deprecian la calidad del agua, convirtiéndose en un grave problema.

El continuo avance científico, tecnológico, social y cultural del ser humano requiere de una capacidad cada vez mayor de comprender nuestro entorno que se vuelve más complejo y cambiante, siendo nosotros muchas veces los que intervenimos o propiciamos estos cambios ya sea de manera directa o indirecta pero siempre con el riesgo latente de vernos afectados por las consecuencias.

A pesar del interés y preocupación por la problemática, en la actualidad las fuentes de información y el acceso a ellas son pocas y limitadas.

Objetivo:

Por tal motivo en la presente monografía se pretende describir las principales características de las aguas residuales así como los distintos tipos de tratamientos de éstas, de una manera sintetizada y fácil de comprender; proporcionándole información útil a todos aquellos interesados en el tema y muy en especial a los estudiantes que cursan la materia de *Ingeniería Ambiental* correspondiente a la *Licenciatura en Ingeniería Industrial* de la *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo* con el fin de

que les ayude a tener un panorama más amplio de las practicas y procesos que se realizan en los tipos de tratamiento de aguas residuales y que les permita contar con algunos fundamentos para poder elegir el tipo de tratamiento adecuado para cada tipo de agua residual dependiendo de las características de contaminación presentes en ellas, considerando también el uso que se le dará una vez que haya cumplido con el debido tratamiento.

Cabe mencionar que no se analizaran los procesos de tratamientos para ningún tipo de planta en específico.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 EL AGUA	5
1.1. Estructura.....	7
1.2. El agua en el mundo.....	8
1.2.1. Distribución global del agua.....	9
1.2.1.1. Aguas oceánicas.....	9
1.2.1.2. Aguas continentales.....	12
1.3. Tipos de aguas.....	13
1.4. Estados físicos.....	18
1.5. Ciclo hidrológico.....	22
1.5.1. Procesos del ciclo hidrológico.....	23
1.6. Análisis físico del agua.....	28
1.6.1. Turbiedad.....	28
1.6.2. Color.....	29
1.6.3. Olor y sabor.....	30
1.6.4. Temperatura.....	30
1.6.5. Sólidos.....	31
1.6.6. Conductividad.....	32
1.6.7. Salinidad.....	33
1.7. Análisis químico del agua.....	34
1.7.1. Alcalinidad.....	35
1.7.2. Acidez.....	36
1.7.3. Dureza.....	36

	Pág.
1.7.4. Grupo del nitrógeno.....	38
1.7.5. Grupo del azufre.....	40
1.7.5.1. Sulfatos.....	40
1.7.5.2. Sulfuros.....	41
1.7.5.3. Sulfitos.....	42
1.7.6. Cloruros.....	42
1.7.7. Fluoruros.....	44
1.7.8. Hierro y magnesio.....	44
1.7.9. Sílice.....	46
1.7.10. Fósforo.....	47
1.7.11. Oxígeno disuelto.....	48
1.7.11.1. Demanda química de oxígeno (DQO).....	49
1.7.11.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	50
1.7.12. Sodio.....	50
1.7.13. Potasio.....	51
1.7.14. Corrosividad.....	52
1.7.15. Grasas y aceites.....	53
1.8. Análisis bacteriológico del agua.....	55
1.8.1. Elementos de microbiología y bacteriología.....	55
1.8.2. Esterilización.....	57
1.8.3. Microbiología del agua.....	58
1.8.4. Examen bacteriológico del agua.....	61
1.8.5. El grupo coliforme.....	61
1.8.6. Criterios de calidad bacteriológica.....	62
1.9. Contaminación del agua.....	64
1.9.1. Contaminación del agua freática o subterránea.....	65
1.9.2. Contaminación de mares y océanos.....	66
1.9.3. Causas de la contaminación del agua.....	68

	Pág.
1.9.4. Contaminantes físicos.....	71
1.9.5. Contaminantes químicos.....	71
1.9.5.1. Contaminación por metales.....	73
1.9.5.2. Contaminación por plaguicidas.....	76
1.9.5.3. Contaminación por petróleo.....	77
1.9.5.4. Contaminación por sólidos.....	78
1.9.5.5. Contaminación por detergentes.....	79
1.9.6. Contaminantes biológicos.....	80
1.9.6.1. Contaminación por materia orgánica.....	80
1.9.6.2. Contaminación por microorganismos patógenos.....	82
1.10. Eutrofización.....	83
CAPÍTULO 2. LAS AGUAS RESIDUALES.....	87
2.1. Caracterización de aguas residuales.....	89
2.1.1. Aguas blancas.....	89
2.1.2. Aguas negras.....	90
2.1.3. Aguas residuales industriales.....	92
2.1.3.1. Industrias textiles.....	96
2.1.3.2. Industrias de curtidos.....	100
2.1.3.3. Industrias químicas.....	102
2.1.3.4. Industrias productoras de explosivos.....	104
2.1.3.5. Mataderos.....	108
2.1.3.6. Industrias lácteas.....	110
2.1.3.7. Fabricación de azúcar.....	111
2.1.3.8. Industrias papeleras.....	112
2.1.3.9. Industrias de acabado de superficies.....	115
2.2. Transporte de aguas residuales.....	117
2.2.1. Bombeo de agua residual.....	118

	Pág.
CAPÍTULO 3. TIPOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS	
RESIDUALES	125
3.1. Procesos físicos.....	128
3.1.1. Desbaste.....	128
3.1.2. Dilaceración.....	129
3.1.3. Homogenización de caudales.....	130
3.1.4. Mezclado.....	131
3.1.5. Floculación.....	131
3.1.6. Sedimentación.....	132
3.1.6.1. Teoría de la sedimentación aplicable.....	132
3.1.7. Flotación.....	135
3.1.8. Filtración.....	136
3.2. Procesos químicos.....	137
3.2.1. Precipitación química.....	138
3.2.2. Transferencia de gases.....	141
3.2.3. Adsorción.....	141
3.2.4. Desinfección.....	142
3.2.5. Decloración.....	143
3.2.6. Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas.....	144
3.3. Procesos biológicos.....	145
3.3.1. Definiciones.....	146
3.3.2. Clasificación de los procesos biológicos.....	148
3.3.2.1. Procesos de tratamiento aerobio de cultivo en suspensión.....	149
3.3.2.1.1. Lodo activado.....	149
3.3.2.1.2. El proceso de nitrificación.....	149
3.3.2.1.3. Estanque de estabilización o laguna.....	150
3.3.2.2. Procesos aerobios de cultivo fijo.....	150

	Pág.
3.3.2.2.1. Filtros de goteo.....	150
3.3.2.3. Procesos anóxicos de cultivos en suspensión y fijos.....	151
3.3.3. Procesos anaerobios de tratamiento.....	151
3.3.3.1. Digestión anaerobia.....	151
3.3.3.2. Proceso anaerobio de contacto.....	152
3.3.3.3. Filtro anaerobio.....	152
3.3.4. Combinación de procesos de tratamiento aerobios / anóxicos o anaerobios.....	153
3.3.4.1. Estanques facultativos.....	153
3.3.5. Sistemas de tratamiento por aplicación al terreno.....	153
3.3.5.1. Riego.....	155
3.3.5.2. Infiltración rápida.....	156
3.3.5.3. Circulación superficial en lámina.....	157

CAPÍTULO 4. NIVELES DE TRATAMIENTO DE AGUAS

RESIDUALES	161
4.1. Pretratamiento.....	166
4.1.1. Separación de grandes sólidos (pozo de gruesos).....	167
4.1.2. Desbaste o cribado.....	169
4.1.2.1. Rejas de limpieza manual.....	172
4.1.2.2. Rejas de limpieza mecánica.....	173
4.1.3. Tamices.....	174
4.1.4. Desarenado.....	177
4.1.4.1. Tipos de desarenadores.....	180
4.1.4.2. Estructuración del cálculo de un desarenador.....	181
4.1.5. Desengrasado – desaceitado.....	183
4.2. Tratamiento primario.....	187
4.2.1. Decantación primaria.....	188

	Pág.
4.2.1.1. Decantadores circulares.....	190
4.2.1.2. Decantadores rectangulares.....	192
4.2.1.3. Rendimientos alcanzables en los decantadores primarios...	193
4.2.1.4. Parámetros de diseño de la decantación.....	195
4.2.2. Flotación.....	199
4.2.2.1. Comparación de la flotación con la sedimentación por gravedad.....	201
4.2.3. Neutralización.....	201
4.2.3.1. Homogeneización.....	202
4.2.3.2. Neutralización de las aguas residuales ácidas por métodos de control directo del pH.....	204
4.3. Tratamiento secundario.....	207
4.3.1. Factores que afectan el proceso de depuración biológica.....	208
4.3.2. Fangos activos.....	210
4.3.2.1. Aireación y agitación.....	211
4.3.2.2. Sistemas funcionales.....	212
4.3.2.3. Características estructurales. Tipos de reactores.....	215
4.3.2.4. El papel de la temperatura.....	217
4.3.2.5. Rendimiento de los aireadores.....	217
4.3.3. Aireación prolongada (o proceso de oxidación total).....	218
4.3.4. Contacto – estabilización.....	220
4.3.5. Lechos bacterianos.....	222
4.3.6.1. Forma y estructura de los lechos bacterianos.....	223
4.3.6.2. Características constructivas y funcionales.....	223
4.3.6.3. Tipos de lechos bacterianos.....	225
4.3.6.4. Cálculos de los lechos bacterianos.....	225
4.3.6.5. Biodiscos y biocilindros.....	227
4.3.7. Lagunajes.....	228

	Pág.
4.3.7.1. Lagunas naturales.....	229
4.3.7.2. Lagunas aireadas.....	230
4.3.7.3. Estudios previos a la construcción de un lagunaje.....	231
4.3.8. Estanques de estabilización aerobia.....	233
4.3.9. Filtros percoladores.....	234
4.3.9.1 Disposición física de los filtros percoladores.....	235
4.4. Tratamiento, uso y eliminación de fangos.....	237
4.4.1. Espesado de fangos.....	239
4.4.2. Digestión de fangos.....	241
4.4.3. Deshidratación de fangos.....	242
4.5. Tratamiento terciario.....	247
4.5.1. Eliminación de sólidos en suspensión.....	248
4.5.2. Adsorción de carbono activo.....	249
4.5.2.1 Los carbones activos como adsorbentes.....	249
4.5.2.2 Funcionamiento de la adsorción.....	250
4.5.3. Ósmosis inversa.....	251
4.5.3.1. Pretratamiento del agua para ósmosis inversa.....	253
4.5.3.2. Preparación de membranas de ósmosis inversa.....	255
4.5.3.3. Observaciones finales sobre la ósmosis inversa.....	257
4.5.4. Electrodialisis.....	257
4.5.5. Cloración.....	259
4.5.5.1. Cloro como desinfectante.....	261
4.5.5.2. Economía de la cloración.....	261
4.5.6. Ozonización.....	262
4.5.7. Eliminación del fósforo.....	263
4.5.7.1. Procesos de eliminación de fósforo.....	264
4.5.8. Eliminación del nitrógeno.....	266
4.5.8.1. Proceso de nitrificación – desnitrificación.....	266

	Pág.
CONCLUSIONES.....	269
CIBERGRAFÍA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	271
APÉNDICES.....	279
Apéndice A: Ley Federal de Derecho / Agua: Tema 11. Derechos por el uso del agua.....	279
Apéndice B: Norma Oficial Mexicana: NOM-003-ECOL-1997.....	282
Apéndice C: Norma Oficial Mexicana: NOM-041-SSA1-1993.....	286

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1.4.(1). Distribución molecular de los distintos estados físicos del agua.....	18
1.5.(1). Procesos del estado físico del agua.....	24
1.5.1.(2). Precipitación global anual.....	26
4.(1). Diagrama de una estación depuradora de aguas residuales.....	163
4.(2). EDAR, estación depuradora de aguas residuales.....	164
4.1.1.(1). Croquis de pozo de muy gruesos.....	168
4.1.1.(2). Pozo y reja de muy gruesos de una estación depuradora.....	169
4.1.2.(1). Reja de desbaste.....	170
4.1.2.1.(1). Rejas de limpieza manual.....	172
1.2.2.(1). Reja de limpieza mecánica.....	174
4.1.3.(1). Tamizado.....	175
4.1.4.1.(1). Desarenado.....	180
4.1.5.(1). Desengrasado.....	184
4.2.1.(1). Decantación primaria.....	189
4.5.3.(1). LennRO, 8” Osmosis Inversa (8040).....	253
4.5.3.2.(1). Membranas para tratamiento de agua.....	255

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1.2.1.(1). Distribución global del agua.....	9
1.3.(1). Salinidad del agua basada en sales disueltas en partes por mil.....	15
1.8.1.(1). Requerimientos nutricionales de los microorganismos.....	56
1.8.3.(1). Enfermedades transmisibles por el agua.....	60
1.8.6.(1). Requerimientos de muestreo para suministros de aguas.....	62
1.8.6.(2). Normas de calidad bacteriológica para suministros de agua.....	63
1.9.(1). Sustancias nocivas en el agua de consumo humano.....	64
1.9.3.(1). Ingredientes tóxicos en productos de uso cotidiano que contaminan el agua.....	70
1.9.5.(1). Principales sustancias y compuestos contaminantes del agua.....	72
1.9.6.1.(1). Valores típicos de Demanda Bioquímica de Oxígeno para aguas de diferente calidad.....	81
1.10.(1). Algunos de los cambios que ocurren en la eutrofización.....	84
2.1.1.(1). Contaminación de las aguas blancas.....	90
2.1.2.(1). Características de las aguas residuales urbanas (Concentración en mg / l).....	91
2.1.3.(3). Consumos de agua en industrias.	93
4.(1). Rendimientos de la depuración.....	162
4.1.2.(1). Características de las materias retenidas en rejillas.....	171
4.1.3.(2). Características dimensionales de los tamices rotativos.....	177
4.1.3.(3). Dimensiones de tamices estáticos.....	177
4.1.4.(1). Decantabilidad de las arenas.....	179
4.1.4.2.(1). Datos de sedimentación de partículas.....	182

	Pág.
4.1.4.2.(2). Velocidades ascensionales en desarenadores.....	183
4.2.1.4.(1). Velocidades ascensionales a caudal medio.....	196
4.2.1.4.(2). Velocidades ascensionales a caudal máximo.....	196
4.2.1.4.(3). Tiempo de retención.....	197
4.2.1.5.(4). Dimensiones en decantadores rectangulares.....	198
4.2.1.5.(5). Dimensiones en decantadores circulares.....	198
4.2.1.5.(6). Carga de salida en vertedero.....	199
4.3.1.(1). Elementos inhibidores del proceso biológico.....	210
4.3.2.2.(1). Parámetros normales para procesos de fangos activos.....	214
4.3.2.4.(1). Transferencia de oxígeno y temperatura.....	217
4.3.2.5.(1). Comparación de sistemas de aireación.....	218
4.3.3.(1). Comparación de los procesos de lodos activos convencionales y de aireación prolongada.....	220
4.3.6.3.(1). Clasificación de lechos para carga.....	225
4.3.7.3.(1). Factores que influyen sobre la depuración por lagunaje.....	240
4.4.3.(1). Solución a adoptar y alternativa de tratamiento con recuperación de fangos.....	244
4.4.3.(2). Solución a adoptar y alternativa de tratamiento sin recuperación de fangos.....	244
4.5.5.1.(1). Dosis típica de cloro en desinfecciones.....	261

SIGLAS Y ABREVIATURAS

FÓRMULAS Y REFERENCIAS QUÍMICAS

AgCl	Cloruro de plata	Fe(OH) ₃	Hidróxido férrico
AgCrO ₄	Cromato de plata	Fe(SO ₄) ₃	Sulfato férrico, ferrisul
AgNO ₃	Nitrato de plata	FeS ₂	Sulfuro de Hierro
AgOH	Hidróxido de plata	Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂	Sulfato ferroso amoniacal
AgSO ₄	Sulfato de plata	HCO ₃	Bicarbonato
Al ₂ O ₃	Alumina (Óxido de aluminio)	HCl	Ácido clorhídrico
Al(OH) ₃	Hidróxido de aluminio	HNO ₃	Ácido nítrico
Al ₂ (SO ₄) ₃	Sulfato de aluminio	H ₂ SiF ₆	Ácido fluosilícico
C	Carbón activado	H ₂ S	Ácido sulfhídrico
Cl ₂	Cloro	HS	Ion hidrosulfuro
CaCO ₃	Carbonato de calcio	H ₂ C ₂ O ₄	Ácido oxálico
CaF ₂	Fluoruro de calcio	H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
CaO	Óxido de calcio, cal	HPO ₄	Ortofosfato
Ca(OCl ₂)	Hipoclorito de calcio	HSO ₃	Ácido sulfuroso
Ca(OH) ₂	Hidróxido de calcio, cal	HSO ₄	Ion biosulfato
CaSO ₄	Sulfato de calcio, yeso	H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
CFC	Clorofluorocarbono	H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico
CH ₄	Metano	KMnO ₄	Permanganato de potasio
ClO ₂	Dióxido de cloro	Mg(OH) ₂	Hidróxido de magnesio
ClOH	Ácido hipocloroso	Mn(OH) ₂	Hidróxido de manganeso
ClNa	Hipoclorito sódico	NaCl	Cloruro de sodio
CN	Cianuro	NaOH	Hidróxido de sodio
CO	Monóxido de carbono (Óxido de carbono)	NaOCl	Hipoclorito de sodio
CO ₂	Dióxido de carbono (Óxido de carbónico, Anhidrido carbónico)	Na ₂ SO ₃	Sulfito de sodio
COV	Compuestos orgánicos volátiles	Na ₂ S ₂ O ₃	Tiosulfato de sodio
CrO ₄	Cromato	NH ₂	Grupo amino
CrO ₇	Dicromato	NH ₃	Amoníaco
CS ₂	Sulfuro de carbono	NH ₄	Amonio
CuSO ₄	Sulfato de cobre	NaAlO ₂	Aluminato de sodio
FeCO ₃	Carbonato ferroso	Na ₃ AlF ₆	Nombre común: criolita
FeCl ₃	Cloruro férrico	Na ₂ CO ₃	Carbonato de sodio
FeO	Óxido ferroso	NaHCO ₃	Bicarbonato de sodio
Fe ₂ O ₃	Óxido férrico	NaHSO ₃	Biosulfato de sodio
FeSO ₄	Sulfato ferroso	Na ₂ SiF ₆	Silicofluoruro de sodio
Na ₄ SiO ₄	Silicato de sodio	N ₂ O ₅	Pentóxido de nitrógeno

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_4$	Carbonato de amonio	SH_2	Ácido sulfhídrico
$\text{NH}_4)_2\text{NO}_3$	Nitrato de amonio	SO_2	Dióxido de azufre (Anhídrido sulfuroso)
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Sulfato de amonio	SO_3	Anhídrido sulfúrico
NO	Monóxido de nitrógeno (Óxido nítrico)	SO_4	Ion sulfato
NO_2	Dióxido de nitrógeno (Dióxido nítrico)	SO_x	Óxido de azufre
NO_3	Nitrato	S_2O_3	Tiosulfato
NO_x	Óxido de nitrógeno	SO_2	Dióxido de azufre
$(\text{NaPO}_3)_n$	Hexametáfosfato de sodio	SO_3	Ion Sulfito
NH_4OH	Hidróxido de amonio	SO_4H_2	Ácido sulfhídrico
$(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$	Amonio fluosilicato	SiO_3	Silicato
O_2	Oxígeno	$\text{UO}_2(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$	Acetato de uranilo
O_3	Ozono	ZrF_6	Fluozirconato

UNIDADES

a	Año	N	Newton
A	Amperio	Pa	Pascal
C	Columbio	ppm	Partes por millón
d	Día	psi	Libra por pulgada cuadrada (1 psi = 0.0703 kg / cm ²)
F	Faradio	s	Segundo
g	Gramo	S	Siemens
h	Hora	t	Tonelada métrica
hab	Habitante	Ton	Tonelada estadounidense (1 ton = 0.907 t)
he	Habitante equivalente	T	Tonelada inglesa (1 T = 1.016 t)
Hz	Herzio	V	Voltio
J	Julio	W	Vatio
l	Litro	Ω	Ohmio
m	Metro		
min	Minuto		

PARÁMETROS TÍPICOS DE AGUAS RESIDUALES

Cm	Carga másica	SSF	Sólidos en fijos
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno	SDV	Sólidos en volátiles
DBO_5	Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días a 20 °C	SS_5	Sólidos en suspensión sedimentables
DQO	Demanda química de oxígeno	SS_5F	Sólidos en suspensión sedimentables fijos
IVF	Índice de volumen de fangos	SS_nV	Sólidos en suspensión no sedimentables volátiles
SD	Sólidos disueltos	ST^n	Sólidos totales
SDF	Sólidos disueltos fijos	STF	Sólidos totales fijos
SDV	Sólidos disueltos volátiles	STV	Sólidos totales volátiles
SS	Sólidos en suspensión		

MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS

E	Exa	d	deci
P	Peta	c	centi
T	Tera	m	mili
G	Giga	μ	micro
M	Mega	n	nano
k	kilo	p	pico
h	hecto	f	femto
da	deca	a	atto

INTRODUCCIÓN

Para el hombre como para los demás seres vivos que habitan este planeta el agua es una sustancia esencial tanto para sus funciones vitales como para prácticamente todas las actividades que rigen su vida, ahí yace la importancia de este tan preciado y vital líquido.

El agua cubre aproximadamente el 72 % de la superficie del planeta Tierra y representa entre el 50 % y el 90 % de la masa de los seres vivos. Es una sustancia abundante, sin embargo, de toda la masa existente en el planeta una cantidad no mayor al 0.7 % de ésta se encuentra en forma de ríos y lagos que es donde cuenta regularmente con las condiciones tanto físicas como químicas más convenientes para su consumo ya sea para alimentación, higiene y las diversas actividades que el ser humano realiza como la agricultura y la industria principalmente.

La constante necesidad del hombre por el uso de este recurso natural ha traído como consecuencia que grandes masas de agua se contaminen día a día, disminuyendo tanto la calidad como la cantidad de agua disponible para el consumo humano; esto aunado a la creciente población mundial convierte a este fenómeno en un gran problema que se va agravando cada vez más.

Este problema traerá consigo un sin fin de consecuencias de dimensiones inimaginables para la humanidad y para los ecosistemas existentes por la excesiva contaminación del agua y de otros muchos factores de similar importancia, en nuestras manos está el hacer algo para tratar de salvar poco o mucho de lo ya perdido.

El Tratamiento de las Aguas Residuales, es decir, las aguas que desecha el hombre una vez que éstas han sufrido un cambio en su composición por la incorporación de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y muchos

otros; es tan sólo una de la respuesta a la pregunta que tal vez en algún momento nos hicimos: ¿qué podemos hacer para enfrentar este problema?.

En la actualidad la mayor parte de las masas contaminadas de aguas residuales no tienen ningún tipo de tratamiento, simplemente se descargan en el lago, río o mar más cercano y se deja que los sistemas naturales se encarguen de lo demás; sin embargo la degradación de los desechos de forma natural ya no es suficiente para que el agua recobre las características necesarias para satisfacer nuestras cada vez más exigentes necesidades; debido a que nuestros desechos son cada vez mayores y su composición química es más compleja.

Los gobiernos de algunos países principalmente de los más desarrollados se han dado a la tarea de investigar y llevar a cabo distintos tipos de tratamientos de agua para reducir los dañinos efectos que la contaminación ha ocasionado a este recurso.

El objetivo general de estos tratamientos es disminuir la cantidad de agentes contaminantes en las masas de agua dependiendo no sólo del tipo de contaminantes presentes en ellas, sino considerando el uso que se le dará nuevamente una vez que el agua haya cumplido con el tratamiento adecuado.

Está por demás decir que el futuro del hombre está ligado estrictamente al uso de los recursos naturales que nuestro planeta tiene para ofrecernos y que el desarrollo así como subsistencia de todos y cada uno de los países que conforman nuestro mundo depende del buen uso que cada uno les dé a éste y todos los demás elementos de los cuales es imposible prescindir.

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 1. EL AGUA

El agua es elemento fundamental, prácticamente fuente de toda vida, constituyendo parte integrante de todos los tejidos animales y vegetales, siendo necesaria como vehículo para el proceso de las funciones orgánicas, pero, además, es indispensable para toda una serie de usos humanos que proporcionan un mayor bienestar, desde la salud y la alimentación, hasta la industria y el esparcimiento. El agua se encuentra en la naturaleza en diversas formas y características, y cada una de ellas tiene su función dentro del gran ecosistema; el planeta Tierra.

Nuestro planeta tiene 1,380 millones de kilómetros cúbicos de agua. Si se pudiera separar de la fase sólida y poner en el espacio, se formaría una esfera de 2,400 kilómetros de diámetro, que aparenta ser demasiado y sin embargo, sería más pequeña que muchos de los cuerpos de hielo que se encuentran en el sistema solar.

El tipo de agua que por sus características y propiedades le es más útil al hombre es el *agua dulce*, en la cual existe una gama de componentes en disolución en pequeñas proporciones y por sus características físicas y químicas la hacen apta para los distintos usos humanos. El agua dulce es tan solo una pequeña parte del total de la masa de agua que existe en la tierra de la cual muy poca puede ser aprovechada porque la mayor parte de ésta se encuentra en estado sólido en los casquetes polares.

La distribución de este líquido vital en el planeta no es uniforme ni en espacio, ni en tiempo. Existen regiones que cuentan con grandes cantidades de agua, mientras en otras la escasez es tal, que cualquier clase de vida es restringida. Además, en la mayoría de los países sólo llueve durante unos cuantos meses.

Recientemente se ha estimado que la humanidad consume alrededor de una quinta parte del agua de escorrentía que va a parar al mar, y la mayoría en prácticas agrícolas; se ha pronosticado que esta fracción aumente a unas tres cuartas partes hacia el año 2025.

El total de agua de bebida que necesitan anualmente el hombre y los animales domésticos es del orden de 10 toneladas por cada tonelada de tejido vivo. Las necesidades industriales y transporte de ingredientes alcanzan de una a dos toneladas por cada tonelada de producto en la manufactura de ladrillos, 250 toneladas de agua por tonelada de papel y 600 toneladas por cada una de nitrato fertilizante. Incluso la mayor de estas cantidades es pequeña comparada con la necesaria en la agricultura. El desarrollo de una tonelada de caña de azúcar o maíz en regadío consume alrededor de mil toneladas de agua, que es transformada de líquido a vapor tanto por la evaporación del suelo como de la transpiración de la planta. El trigo, el arroz y el algodón requieren, respectivamente, alrededor de 1,500, 4,000 y 10,000 toneladas de agua por tonelada de cosecha respectivamente.

Estas cifras nos dan una idea de su gran importancia así como de las grandes cantidades que se necesitan de éste vital líquido para poder sobrevivir y realizar las distintas actividades, por lo que es indispensable conocer más acerca de ella así como de el adecuado uso que se le debe de dar, si no se quiere alterar irreversiblemente el equilibrio ecológico.

(<http://www.fpolar.org.ve/quimica/fasciculo19.pdf+el+agua+en+el+mundo+fasciculo&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=mx>; http://www.agua-viva.info/es/aufsaetze_3.htm; <http://www.mgar.net/mar/agua.htm>).

1.1. Estructura

Según la química inorgánica el agua es un compuesto químico cuya fórmula es H₂O; contiene en su molécula un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno. A temperatura ordinaria es un líquido insípido, inodoro e incoloro en cantidades pequeñas; en grandes cantidades retiene las radiaciones del rojo, por lo que a nuestros ojos adquiere un color azul.

El agua cubre el 72 % de la superficie del planeta Tierra y representa entre el 50 y el 90 % de la masa de los seres vivos. Es una sustancia relativamente abundante aunque solo supone el 0.022 % de la masa de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

A pesar de que el agua de los mares y océanos pareciera ser de color azul verdoso, el agua es incolora. El color observado es el resultado de fenómenos de difusión, absorción y, sobretodo, reflexión / refracción de la luz que penetra a la superficie marina y oceánica. Así que, por una parte lo observado depende de la intensidad de la luz que incide sobre la superficie, la presencia de nubosidad y el estado de agitación del agua. Por otra parte, el color que se ve puede depender fuertemente de la concentración de partículas, organismos o microorganismos presentes en suspensión en una zona determinada. Así pues, en la cercanía de ciertas costas y desembocaduras de ríos, el agua pareciera ser de color marrón amarillo y hasta rojizo, producto de los sólidos en suspensión que son arrastrados desde la tierra hacia los mares u océanos.

(<http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua&oldid=16321984>;

<http://www.monografias.com/trabajos5/elagu/elagu3.shtml>).

1.2. El agua en el mundo

El agua es, con mucho, la sustancia sencilla más abundante en la biósfera. Los océanos, los casquetes polares, los glaciares, los lagos, los ríos, el mismo suelo y la atmósfera contienen agua en una forma u otra, hasta alcanzar, como se ha mencionado, 1,386 millones de kilómetros cúbicos. El agua es singular en casi todas sus propiedades físicas o se encuentra en el extremo de un tipo de propiedades. Sus extraordinarias características físicas le confieren a su vez, propiedades químicas únicas. La importancia biológica del agua procede de estas características fisicoquímicas.

El agua se supone, según una teoría; tiene su origen en la misma formación de la tierra y según otra, que se formó a lo largo de los tiempos geológicos en reacciones internas de la tierra, expulsándose al exterior en los procesos eruptivos. En cualquiera de las dos teorías por escala humana podemos considerar que estas aguas se mantienen prácticamente constantes a lo largo del tiempo, estando sometidas a un ciclo hidrológico, donde la radiación solar es la fuente de energía que las hace funcionar.

Además de la limitación de las disponibilidades de agua dulce de manera global, se produce un reparto desigual en las distintas superficies continentales, dando lugar a zonas de abundancia y zonas de escasez. Todo ello como consecuencia de las circulaciones de las zonas más cálidas, en el ecuador; hacia las más frías, en los polos; así como por la desigual distribución de las tierras, los mares y la orografía entre otras. También a lo largo del tiempo se producen variaciones más o menos cíclicas en función de la mayor o menor distancia de la tierra al sol, así como las variaciones de energía solar o de perturbaciones de tipo eruptivo en la tierra, que tienen que disiparse en el tiempo.

(<http://www.fpolar.org.ve/quimica/fasciculo19.pdf+el+agua+en+el+mundo+fasciculo&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=mx>; <http://www.mgar.net/mar/agua.htm>; Ehrlich, 1975.).

1.2.1. Distribución global del agua

Los principales cuerpos de agua existentes en el planeta se describen a continuación.

TABLA 1.2.1.(1). DISTRIBUCIÓN GLOBAL DEL AGUA.

Fuente de agua	Volumen de agua, en metros cúbicos	Volumen de agua, en millas cúbicas	Porcentaje de agua dulce	Porcentaje total de agua
Océanos, Mares y Bahías	1,338,000,000	321,000,000	-	96.5
Capas de hielo, Glaciares y Nieves Perpetuas	24,064,000	5,773,000	68.7	1.74
Agua subterránea	23,400,000	5,614,000	-	1.70
Dulce	10,530,000	2,526,000	30.1	0.76
Salada	12,870,000	3,088,000	-	0.94
Humedad del suelo	16,500	3,959	0.05	0.001
Hielo en el suelo y gelisuelo (permafrost)	300,000	71,970	0.86	0.022
Lagos	176,400	42,320	-	0.013
Dulce	91,000	21,830	0.26	0.007
Salada	85,400	20,490	-	0.006
Atmósfera	12,900	3,095	0.04	0.001
Ríos	2,120	509	0.006	0.0002
Total	1,386,000,000	332,500,000	-	100

Fuente: <http://www.ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html#global#global>.

1.2.1.1. Aguas oceánicas

Para poder explicar el concepto *agua oceánica* es necesario mencionar cual es su origen.

El verdadero origen del agua oceánica aun es un misterio para los científicos, sin embargo existen distintas teorías, una de ellas y la más creíble es que, su mayor parte haya sido liberada en forma de vapor por erupciones volcánicas de los continentes en formación, a medida que la superficie terrestre se enfriaba, se iba constituyendo así las grandes masas de agua en la atmósfera.

Cuando la superficie de la Tierra se enfrió, el vapor condensado cayó en forma de lluvia y forma de charcos y lagos que, al ir extendiéndose y uniéndose, dieron origen a los primeros océanos del planeta.

Al conjunto del agua presente encima, en y dentro de la tierra se le denomina “Hidrosfera”, sin embargo a la que se encuentra más alejada de la tierra se le denomina *agua oceánica*. Las aguas oceánicas se clasifican en dos grupos: *océanos* y *mares*. (<http://www.rincondelvago.com/aguas-continetales-y-oceanicas.html>).

Océanos

Los océanos han sido divididos de manera convencional y utilizando un criterio geográfico que físicamente no existe: océano Glacial Ártico, océano Atlántico, océano Pacífico, océano Índico y océano Glacial Antártico.

Los *océanos* cubren el 71 % de la superficie de la Tierra, desde su formación hace casi 4000 millones de años los océanos contienen la mayor parte del agua líquida de nuestro planeta; siendo el Pacífico el mayor de ellos.

La profundidad de los océanos es variable dependiendo de las zonas del relieve oceánico pero resulta escasa en comparación con su superficie. Se estima que la profundidad media es de unos 4 km. La parte más profunda se encuentra en la fosa de las Marianas alcanzando los 11,033 m de profundidad.

En los océanos hay una capa superficial de agua templada (12° a 30 °C), que llega hasta una profundidad variable según las zonas, de entre unas decenas de metros hasta los 400 o 500 metros. Por debajo de esta capa el agua está fría con temperaturas de entre 5° y -1 °C. Se llama termoclina al límite entre las dos capas. El agua está más cálida en las zonas templadas, ecuatoriales y tropicales, más fría cerca de los polos y, también, más cálida en verano y más fría en invierno.

Las corrientes oceánicas trasladan grandes cantidades de calor de las zonas ecuatoriales a las polares. Unidas a las corrientes atmosféricas son las responsables de que las diferencias térmicas en la Tierra no sean tan fuertes como las que se darían en un planeta sin atmósfera ni hidrosfera. Por esto su influencia en el clima es tan notable.

(http://www.portal.huascar.edu.pe/modulos/m_agua1.0/index.htm;

<http://www.es.wikipedia.org/wiki/Oce%C3%A1no>;

Mares

Los términos *mar* y *océano* se emplean a menudo como sinónimos para referirse a las extensiones de agua salada; el mar es una masa de agua sustancialmente menor que un océano.

Los mares son porciones determinadas en los océanos; tienen dimensiones menores que éstos y, según sus características, han recibido diferentes nombres, aunque tal nomenclatura es completamente arbitraria. Los mares se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Mares cerrados o interiores: Están limitados por la masa continental, como el mar Muerto o Caspio, y son propios de las zonas endorreicas, caracterizados por la gran evaporación.
- Mares litorales o costeros: Son los que están ubicados en los bordes de los océanos.
- Mares continentales: Se encuentran cerrados casi completamente teniendo poca comunicación con el océano. Ejemplos de este tipo son el mar Rojo y el mar Mediterráneo.

(Microsoft Encarta 2006;

http://www.portal.huascar.edu.pe/modulos/m_agua1.0/index.htm).

1.2.1.2. Aguas continentales

Las aguas continentales son aquellos cuerpos de aguas permanentes que se encuentran en el interior, es decir, que se encuentran en tierra firme alejados de las zonas costeras. Estas aguas han perdido su salinidad mediante la evaporación, pues al pasar al estado gaseoso pierden cualquier sustancia sólida. Las aguas continentales representan las diversas formas en las cuales puede encontrarse distribuida el agua en un continente. El agua de los continentes denominada aguas continentales están conformadas por tres tipos: *aguas superficiales* (ríos, lagos, embalses, etcétera), *aguas subterráneas* y *aguas congeladas* (*glaciares*).

Las aguas continentales están integradas por dos grandes ecosistemas:

- *Aguas lénticas o estancadas*: Comprenden todas las aguas interiores que no presentan corriente continua. A este grupo pertenecen los lagos, lagunas, charcas, humedales y pantanos. En estos sistemas, según su tamaño, pueden haber movimientos de agua: olas y mareas.
- *Aguas lóxicas o corrientes*: Incluyen todas las masas de agua que se mueven continuamente en una misma dirección. Existe por consiguiente un movimiento definido y de avance irreversible. Este sistema comprende: los manantiales, barrancos, riachuelos, esteros y ríos.

Los ecosistemas lénticos se diferencian de los lóxicos por la fuerza de la corriente, el intercambio entre la tierra y el agua y la cantidad de oxígeno contenida en el agua.

(<http://www2.udec.cl/~lpalma/index.html>;

http://www.es.wikipedia.org/wiki/Aguas_continentales).

1.3. Tipos de aguas

Existen diferentes tipos de agua, de acuerdo a su procedencia y uso:

Agua potable

Se denomina agua potable al agua "bebible" en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. El término se aplica al agua que ha sido tratada para su consumo humano según estándares de calidad determinados por las autoridades locales e internacionales. Para asegurar su calidad se han establecidos valores máximos y mínimos para el contenido en minerales, diferentes iones como cloruros, nitratos, nitritos, amonio, calcio, magnesio, fosfato, arsénico etcétera. Además de los gérmenes patógenos. El pH del agua potable debe estar entre 6.5 y 8.5.

Las causas de la no potabilidad del agua son:

- Bacterias, virus.
- Minerales (en formas de partículas o disueltos), productos tóxicos.
- Depósitos o partículas en suspensión.

(http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_potable&oldid=16476481).

Agua salada

El agua salada es aquella en la que la concentración de sales es relativamente alta (más de 10,000 mg / l). El agua de mar es la que se puede encontrar en los océanos y mares de la Tierra. Es salada por la concentración de sales minerales disueltas que contiene, un 3.5 % como media, entre las que predomina el cloruro sódico, también conocido como sal de mesa.

El agua de mar es una disolución en agua de muy diversas sustancias. Hasta las dos terceras partes de los elementos químicos naturales están presentes en el agua de mar, aunque la mayoría sólo como trazas. Seis componentes, todos ellos iones, dan cuenta de más del 99 % de la composición de solutos. El agua salada es buena conductora de la electricidad por la unión de sus moléculas y la fácil ionización por las partículas salinas.

El estudio de su composición se simplifica por el hecho de que las proporciones de los componentes son siempre aproximadamente las mismas, aunque la concentración conjunta de todos ellos es enormemente variable.

La salinidad presenta variaciones cuando se comparan las cuencas, las distintas latitudes o las diferentes profundidades. Favorece a una salinidad más elevada la evaporación más intensa propia de las latitudes tropicales, sobre todo en la superficie, y una menor la proximidad de la desembocadura de ríos caudalosos y las precipitaciones elevadas.

(http://www.es.wikipedia.org/wiki/Agua_de_mar.).

Agua salobre

Se llama agua salobre al agua que tiene más sal disuelta que el agua dulce, pero menos que el agua de mar.

Técnicamente, se considera agua salobre la que posee entre 0.5 y 30 gramos de sal por litro, expresados más frecuentemente como de 0.5 a 30 partes por mil.

El agua salobre es típica de los deltas y resulta de la mezcla del agua del río correspondiente con el agua del mar. También se encuentra agua salobre de origen fósil en ciertos acuíferos asociados con rocas salinas. Se puede obtener a partir de la mezcla de agua dulce y agua de mar. Pero salobre cubre un rango de salinidad y no es una condición definida con precisión. Es característico del agua salobre que su salinidad pueda variar considerablemente a lo largo del tiempo y del lugar.

(http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_salobre&oldid=16403206.).

TABLA 1.3.(1). SALINIDAD DEL AGUA BASADA EN SALES DISUELTAS EN PARTES POR MIL (‰).

Agua dulce	Agua salobre	Agua salada	Salmuera
< 0.5 ‰	0,5 - 30 ‰	30 - 50 ‰	> 50 ‰

Fuente: http://www.es.wikipedia.org/wiki/Agua_salada.

Agua dulce

El agua dulce es agua que contiene cantidades mínimas de sales disueltas, especialmente cloruro sódico, distinguiéndose así del agua salada (agua de mar). El agua dulce está contenida en gran parte de las aguas continentales y subterráneas, principalmente. (http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_dulce&oldid=16282729).

Agua dura

En química, el agua dura es aquella que posee una dureza superior a 120 mg de carbonato de calcio por litro (CaCO_3 / l). Es decir que contiene un alto nivel de minerales, en particular carbonatos de magnesio y calcio, y sulfatos principalmente de sulfuro, azufre y hierro, que lleva en sí un tanto del óxido rojizo. Son éstas las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales metálicas.

El agua dura no produce espuma con el jabón; más aún, es bien empleada en el uso cotidiano incluyendo el consumo, aunque no tenga la nitidez del agua purificada; por consiguiente, el agua dura, dependiendo de los niveles de minerales tiene sabor y puede ser ligeramente turbia.

El agua dura puede volver a ser blanda con el agregado de carbonato de sodio o potasio, para precipitarlo como sales de carbonatos, o por medio de intercambio iónico con salmuera en presencia de zeolita o resinas sintéticas.

(http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_dura&oldid=16137497).

Agua blanda

El agua blanda, por contraposición al agua dura, es el agua que no es dura, tiene flexibilidad y se le encuentra generalmente en las estepas; siempre es dulce y de diferentes colores, en función de las partículas en suspensión.

El agua blanda se caracteriza por tener una concentración de cloruro de sodio ínfima y una baja cantidad de iones de calcio y magnesio.

(http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_blanda&oldid=15863299).

Aguas negras

El término agua negra, más comúnmente utilizado en plural, *aguas negras*, define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

Se les denomina negras por el color que habitualmente tienen, y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (alcantarillas), nombre que se le da habitualmente al colector.

Las aguas negras están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

(http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_negras&oldid=16312989).

Aguas grises

Las aguas grises o aguas residuales no cloacales son las aguas generadas por los usos domésticos, tales como el lavado de utensilios y de ropa así como el baño de las personas.

Las aguas grises se distinguen de las aguas cloacales contaminadas con desechos del retrete porque no contienen bacterias *Escherichia coli*. Las aguas grises son de vital importancia, porque pueden ser de mucha utilidad en el campo del regadío ecológico.

Las aguas grises generalmente se descomponen más rápido que las aguas negras y tienen mucho menos nitrógeno y fósforo. Sin embargo, las aguas grises contienen algún porcentaje de aguas negras, incluyendo patógenos de varias clases.

(http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_grises&oldid=15386313).

Otros tipos de aguas

- Agua bruta: Agua que no ha recibido tratamiento de ningún tipo, o agua que entra en una planta para su posterior tratamiento.
- Aguas muertas: Aguas en estado de escasa o nula circulación, generalmente con déficit de oxígeno.
- Agua fósil: Agua infiltrada en un acuífero durante una antigua época geológica bajo condiciones climáticas y morfológicas diferentes de las actuales y almacenada desde entonces.
- Agua primitiva: Agua proveniente del interior de la tierra, que no ha existido antes en forma de agua atmosférica o superficial.
- Agua magmática: Agua impulsada hasta la superficie terrestre desde gran profundidad, por el movimiento ascendente de rocas ígneas intrusivas.

(Microsoft Encarta 2006).

1.4. Estados físicos

El agua se encuentra en nuestro planeta en cuatro estados físicos (sólido, líquido, gaseoso y plasma). En los tres primeros, las moléculas son idénticas y las diferencias se deben al tipo de interacciones que existen entre ellas en cada caso. En el proceso de pasar de un estado a otro, se forman o se rompen enlaces moleculares (entre moléculas), mientras que los enlaces intermoleculares (dentro de la molécula) permanecen intactos, es decir se mantiene el mismo compuesto sin cambiar sus propiedades químicas, solamente cambia su estado físico. La **Figura 1.4.(1)** muestra la distribución de las moléculas de agua en los principales estados físicos de ella.

(<http://www.iquimica.blogspot.com/2006/04/estados-fsicos-del-agua.html>Estados-fsicos-del-agua.).

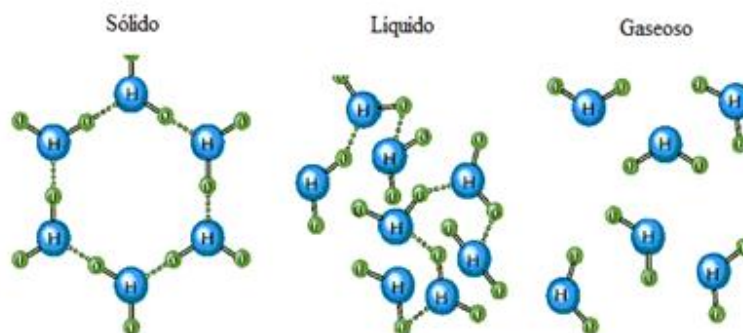


FIGURA 1.4.(1). DISTRIBUCIÓN MOLECULAR DE LOS DISTINTOS ESTADOS FÍSICOS DEL AGUA.

Fuente: <http://www.iquimica.blogspot.com/2006/04/estados-fsicos-del-agua.html>Estados-fsicos-del-agua.

Sólido

En el agua sólida las moléculas se ordenan de tal modo que ocupan mayor espacio que si estuvieran en estado líquido, presentando una estructura cristalina abierta. Ésta es una característica única del agua; todos los demás líquidos al solidificarse contraen su volumen, en cambio en el agua éste se expande.

Al estar el agua en estado sólido, todas las moléculas se encuentran unidas mediante un enlace de hidrógeno, que es un enlace intermolecular y forman una estructura parecida a un panal de abejas, lo que explica que el agua sea menos densa en estado sólido que en líquido. La energía cinética de las moléculas es muy baja, es decir que las moléculas están casi inmóviles.

Este hecho es muy importante. En la mayoría de los líquidos la temperatura disminuye cuando son expuestos al aire frío, por lo que el líquido frío se hunde forzando a subir más líquido y ser enfriado por el aire. Posteriormente, todo el líquido perdería calor al aire y se congelaría de abajo hacia arriba hasta estar completamente congelado. Pero con el agua, las regiones frías siendo menos densas, permanecen en la superficie, permitiendo entonces a las regiones más calientes mantenerse abajo y evitar perder calor con el aire. Esto significa que la superficie puede estar congelada, pero los peces pueden continuar su vida normal en el agua de abajo.

(<http://www.iquimica.blogspot.com/2006/04/estados-fsicos-del-agua.;>

http://www.es.wikipedia.org/wiki/Agua#Estado_s.C3.B3lido_del_agua#Estado_s.C3.B3lido_del_agua.).

Líquido

El agua líquida se comporta como el resto de los fluidos: tiene masa, ocupa un volumen determinado y se adapta al recipiente que la contiene. La estructura molecular del agua líquida es una red de puentes de hidrógeno, con moléculas que tienen cierta movilidad.

Cuando el agua está en estado líquido, al tener más temperatura, aumenta la energía cinética de las moléculas, por lo tanto el movimiento de las moléculas es mayor, produciendo quiebres en los enlaces de hidrógeno, quedando algunas moléculas sueltas, y la mayoría unidas pero con libertad para desplazarse. Esto es lo que el estado líquido

proporciona, por lo que es el estado ideal para que ocurran las miles de reacciones químicas que suceden en cada célula de cada organismo.

El agua mantiene su estado líquido en un rango muy limitado. Bajo la presión atmosférica, el agua es líquida entre 0 y 100 °C (32–212 °F).

Otra propiedad muy importante del agua es su alto calor específico. Lo cual significa que se necesita una gran cantidad de energía para calentarla (cerca de diez veces más que la misma masa del hierro), y así mismo debe perder una gran cantidad de energía para enfriarse. En consecuencia, los inmensos cuerpos de agua en la tierra ayudan a mantener la temperatura del planeta bastante estable.

(<http://www.iquimica.blogspot.com/2006/04/estados-fsicos-del-agua.html>;

[http://www.es.wikipedia.org/wiki/Agua#Estado_l%C3. ADquido_del_agua#Estado_l.C3. ADquido_del_agua.](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Agua#Estado_l%C3%ADquido_del_agua#Estado_l%C3%ADquido_del_agua)).

Gaseoso

En el estado gaseoso las moléculas de agua se separan totalmente unas de otras; la energía cinética es tal que se rompen todos los enlaces de hidrógeno quedando todas las moléculas libres. El vapor de agua es tan invisible como el aire; el vapor que se observa sobre el agua en ebullición o en el aliento emitido en aire muy frío, está formado por gotas microscópicas de agua líquida en suspensión, lo mismo que las nubes.

Cuando los líquidos se evaporan, extraen calor de sus alrededores. Una parte esencial de este fenómeno es el alto calor latente de vaporización del agua. Esto significa que toma mucho más energía evaporar agua que muchos otros líquidos.

(<http://www.iquimica.blogspot.com/2006/04/estados-fsicos-del-agua.html>).

Plasma

El agua en estado plasma es agua glacial sometida a extremas temperaturas y presiones criogénicas, que adquiere una alta capacidad subliminal al pasar de sólida a vapor por la acción energética de los elementos que la integran, oxígeno e hidrógeno; y del calor atrapado durante su proceso de congelación - expansión. Es decir, por su situación de confinamiento a grandes profundidades se deshiela parcialmente, lo cual genera vapor a una temperatura ligeramente arriba del helado entorno, suficiente para socavar y formar cavernas en el interior de los densos glaciales. Estas grutas, que además contienen agua proveniente de sistemas subglaciales, involucran a las tres fases actuales del agua, donde al interactuar en un congelado ambiente subterráneo y sin la acción del viento se transforman en el cuarto estado del agua: plasma semilíquido o gelatinoso.

(http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Plasma_%28estado_de_la_materia%29&oldid=16524075).

1.5. Ciclo hidrológico

La idea del ciclo hidrológico, que hoy nos parece tan intuitiva, durante siglos no fue comprendida por filósofos y científicos, creyendo que el ciclo se realizaba al revés: el agua penetraba en la corteza desde el fondo de los océanos, se almacenaba en la profundidad, probablemente en grandes cavernas, y ascendía después por el calor de la Tierra hasta las partes altas de las montañas, surgiendo en las zonas de nacimiento de los ríos. No creían posible que el caudal de un gran río fuera producido exclusivamente por las lluvias y les maravillaba la existencia de manantiales en lugares topográficamente elevados y con caudales relativamente constantes.

Actualmente se denomina como ciclo hidrológico al movimiento general del agua, ascendente por *evaporación* y descendente primero por las *precipitaciones* y después en forma de *escorrentía* superficial y subterránea.

Sobre esta definición tan simple se pueden realizar algunas observaciones:

- No es tan simple como “El agua se evapora en el océano y precipita sobre los continentes” ya que en ambos medios se produce evaporación y precipitación, aunque es cierto que la evaporación predomina en el océano y la precipitación en los continentes.
- La escorrentía subterránea es mucho más lenta que la superficial. La lentitud (a veces inmovilidad) de la escorrentía subterránea confiere al ciclo algunas características fundamentales, como que los ríos continúen con un caudal mucho tiempo después de las últimas precipitaciones.
- Las aguas subterráneas no son más que una de las fases o etapas del ciclo del agua, no tienen ningún misterioso origen magmático o profundo. A veces se olvida esta obviedad y se explotan las aguas de una región como si nada tuvieran que ver con las precipitaciones o la escorrentía superficial, con resultados indeseables.

Una excepción; existen efectivamente surgimientos de aguas que proceden del interior de la Tierra y que nunca han estado en la superficie ni formando parte del Ciclo Hidrológico, pueden denominarse *aguas juveniles* y se trata de casos verdaderamente excepcionales. Las aguas (termales, sulfuradas, etcétera.) de los balnearios se demuestra mediante estudios isópticos que son aguas meteóricas en la mayoría de los casos.

Otras aguas subterráneas que aparecen ajenas al ciclo son las que aparecen en regiones desérticas. Son aguas que se infiltraron hace decenas de miles de años cuando esas mismas zonas desérticas no eran tales. Tanto éstas como las aguas fósiles pertenecen al ciclo hidrológico, pero han estado aparentemente apartadas a él durante un periodo muy prolongado.

Como se trata de un ciclo se podría considerar todas sus fases comenzando desde cualquier punto, pero lo más intuitivo puede ser comenzar en la *precipitación* y considerar qué caminos puede seguir el agua que cae sobre los continentes en las precipitaciones. (<http://www.usal.es.com/javisan/hidro>).

1.5.1. Procesos del ciclo hidrológico

Los principales procesos implicados en el ciclo del agua son: evaporación, precipitación, filtración y escorrentía.

En la **Figura 1.5.1.(1)** se aprecia que, para que el agua pase del estado sólido a líquido y posteriormente a vapor se requiere suministrarle *energía térmica*, mientras que al proceso inverso de vapor a agua líquida y a hielo, el agua debe entregar calor al medio.



FIGURA 1.5.1.(1). PROCESOS DEL ESTADO FÍSICO DEL AGUA.

Fuente: <http://www.iquimica.blogspot.com/2006/04/estados-fisicos-del-agua.html> Estados-fisicos-del-agua.

Evaporación

La evaporación es el principal proceso mediante el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso. La evaporación es el proceso por la cual el agua líquida de los océanos ingresa a la atmósfera, en forma de vapor, regresando al ciclo del agua.

Diversos estudios han demostrado que los océanos, mares, lagos y ríos proveen alrededor del 90 % de humedad a la atmósfera vía evaporación; el restante 10 % proviene de la transpiración de las plantas.

El calor (energía) es necesario para que ocurra la evaporación. La energía es utilizada para romper los enlaces que mantienen unidas a las moléculas de agua, es por esto, que el agua se evapora más fácilmente en el punto de ebullición (100 °C, 212 °F), pero se evapora más lentamente en el punto de congelamiento. Cuando la humedad relativa del aire es del 100 por ciento, que es el punto de saturación, la evaporación no puede continuar ocurriendo.

La gran superficie de los océanos propicia la ocurrencia de la evaporación a gran escala. A escala global, la misma cantidad de agua que es evaporada, vuelve a la Tierra como precipitación. Esto sin embargo varía geográficamente. Sobre los océanos, la

evaporación es más común que la precipitación; mientras que, sobre la tierra la precipitación supera a la evaporación. La mayor parte del agua que se evapora de los océanos, cae de vuelta sobre los mismos como precipitación. Solamente un 10 % del agua evaporada desde los océanos, es transportada hacia tierra firme y cae como precipitación. Una vez evaporada, una molécula de agua permanece alrededor de diez días en el aire. (<http://www.ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>).

Condensación

La condensación es el proceso por el cual el vapor de agua del aire se transforma en agua líquida. La condensación es importante para el ciclo del agua ya que forma las nubes. Estas nubes pueden producir precipitación, el cual es el principal medio por el que el agua regresa a la Tierra.

Incluso en aquellos días en que el cielo está completamente despejado de nubes, el agua sigue presente en forma de vapor de agua y pequeñas gotas demasiado pequeñas como para ser percibidas. Las moléculas de agua se combinan con diminutas partículas de polvo, sales y humo para formar gotas de nube, que crecen y forman las nubes.

Las nubes se forman en la atmósfera por que el aire que contiene el vapor de agua se eleva y enfría. Lo crucial de este proceso, es que el aire cercano a la Tierra es calentado por la radiación solar. La razón por la que el aire se enfría sobre la superficie terrestre, es la presión de aire. A mayores altitudes, hay una menor cantidad de aire, y por eso, una menor cantidad de aire ejerciendo presión esto provoca el enfriamiento del aire. (<http://www.ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>).

Precipitación

La precipitación, es agua liberada desde las nubes en forma de lluvia, aguanieve, nieve o granizo. Es el principal proceso por el cual el agua retorna a la Tierra. La mayor parte de la precipitación cae como lluvia.

Las nubes contienen vapor de agua y gotas de nube, que son demasiado pequeñas como para caer en forma de precipitación, aunque lo suficientemente grandes como para formar nubes visibles. El agua está continuamente evaporándose y condensándose en el cielo. La mayor parte del agua condensada en las nubes, no cae como precipitación debido a las ráfagas de aire ascendente que soportan a las nubes. Para que ocurra la precipitación primero pequeñas gotas deben condensarse. Las gotas de agua colisionan y producen gotas de mayor tamaño y lo suficientemente pesadas como para caer de la nube en forma de precipitación.

(<http://www.ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>).

La **Figura 1.5.1.(2)** muestra la precipitación anual promedio, en milímetros y pulgadas, en el mundo.

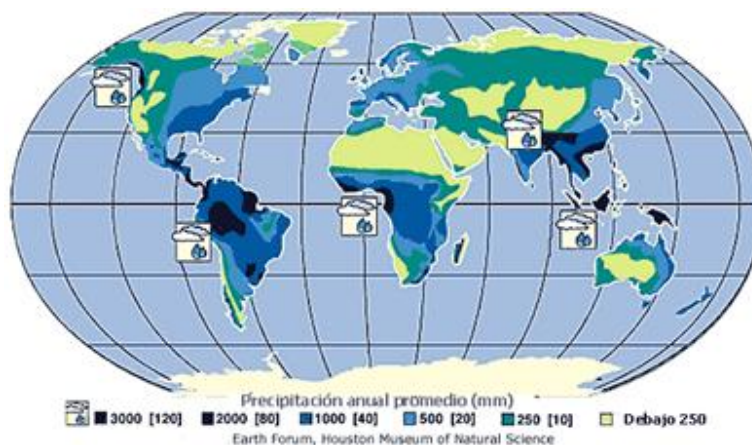


FIGURA 1.5.1.(2). PRECIPITACIÓN GLOBAL ANUAL.

Fuente: <http://www.ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>.

Filtración y escorrentía

La precipitación sobre la superficie de la tierra seguirá diferentes caminos antes de volver al inicio del ciclo. Una parte del agua será aprovechada por los seres vivos, vegetales y animales. Otra parte va a parar al mar por medio de la escorrentía superficial, que puede transcurrir por lechos formados en el transcurso del tiempo como los ríos o los torrentes. En este camino hacia el mar se produce una filtración hacia el subsuelo formando escorrentía subterránea. El agua puede ser almacenada en la superficie, lagos o embalses superficiales, y en el subsuelo en los acuíferos subterráneos. Cabe señalar que todo este sistema de escorrentía, infiltración y almacenamiento es completamente interactivo ya que existe normalmente un flujo continuo entre todos los sistemas. Por este motivo existen ríos que desaparecen, formando ríos subterráneos, y vuelven a aparecer kilómetros más adelante. Del mismo modo la interacción entre los acuíferos y el mar puede originar la intrusión marina, penetración de agua de mar en los acuíferos.

Del mismo modo que ocurre con la energía, el total de agua que existe en la naturaleza puede considerarse que tiene un valor constante. Lo que cambia es su forma pero no su cantidad. (<http://www.ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>).

1.6. Análisis físico del agua

El agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de congelación del agua es de 0 °C y su punto de ebullición de 100 °C. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4 °C y se expande al congelarse.

Como muchos otros líquidos, el agua puede existir en estado sobreenfriado, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos -25 °C sin que se congele. Sus propiedades físicas se utilizan como patrones para definir, por ejemplo, escalas de temperatura. (<http://www.html.rincondelvago.com/agua.html>).

1.6.1. Turbiedad

La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es una propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en el agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etcétera.

La determinación de la turbiedad es de gran importancia en aguas para consumo humano y en gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas.

Los valores de turbiedad sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más

adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentos y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua. (Romero, 1999. (1)).

1.6.2. Color

El agua pura es incolora, pero las sustancias naturales presentes en ella le proporcionan ciertas tonalidades. El agua polucionada puede contener una gran variedad de compuestos colorantes orgánicos, minerales o ambos. Los desechos industriales dan a las aguas, algunas veces, colores característicos, pero generalmente es difícil relacionar directamente color y polución

Las causa más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etcétera; en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de las partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente.

La remoción de color es una función del tratamiento de agua y se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es, por lo tanto, objeto esencial del tratamiento.

(Romero, 1999. (1)).

1.6.3. Olor y sabor

Los olores y sabores en el agua frecuentemente ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran: materia orgánica en solución, ácido sulfúrico, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etcétera. Un observador experimentado puede detectar la presencia de sales metálicas disueltas de hierro, zinc, manganeso, cobre, potasio, y sodio, por medio del sabor; sin embargo, debe recordarse siempre que la sensibilidad es diferente de persona a persona y que, incluso, con el mismo individuo no se obtendrán resultados consistentes de un día para otro.

La determinación del olor y el sabor en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación.

Tanto el color como el sabor pueden describirse cualitativamente y esto es muy útil especialmente en casos de reclamos por parte del consumidor; en general los olores son más fuertes a altas temperaturas. El ensayo del sabor sólo debe hacerse con muestras seguras para el consumo humano. (Romero, 1999. (1)).

1.6.4. Temperatura

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamientos y análisis de laboratorio puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbono de calcio se relacionan con la temperatura.

Para obtener buenos resultados, la temperatura debe tomarse en el sitio del muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura puede hacerse con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, y la lectura debe hacerse después de un periodo de tiempo suficiente que permita la estabilización del nivel del mercurio. Como el mercurio es venenoso debe prevenirse cualquier posible rotura del termómetro en agua utilizada para consumo. (Romero, 1999. (1)).

1.6.5. Sólidos

Se define como *sólidos* a la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103 °C. Incluye toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos. En ingeniería sanitaria es necesario medir la cantidad de material sólido contenido en una gran variedad de sustancias líquidas y semilíquidas que van desde aguas potables hasta aguas contaminadas, aguas residuales, residuos industriales y lodos producidos en los procesos de tratamiento.

- *Sólidos totales*: El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). Para su determinación, la muestra se evapora en una cápsula previamente pesada, preferiblemente de platino o porcelana, sobre un baño de María, y luego se seca a 103 – 105 °C. el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos totales o residuo total.
- *Sólidos disueltos (o residuo filtrable)*: Son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si la determinación es directa se filtra una muestra a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio en un crisol Gooch; el filtrado se evapora en una cápsula de paso conocido sobre un

baño de María y el residuo de la evaporación a 103 – 105 °C. el incremento de peso sobre la capsula vacía representa los sólidos disueltos o residuo filtrable.

- *Sólidos suspendidos (residuo no filtrable o material no disuelto)*: Son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch previamente pesado. El crisol con su contenido se seca a 103 – 105 °C; el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos suspendidos o residuo no filtrable.
- *Sólidos volátiles y sólidos fijos*: En aguas residuales y lodos, se acostumbra a hacer una determinación con el fin de obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente. La determinación de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles es importante para evaluar la concentración o “fuerza” de aguas residuales para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento biológico secundario.
La determinación de sólidos sedimentables es básica para establecer la necesidad del diseño de tanques de sedimentación como unidades de tratamiento y para controlar su eficiencia.
- *Sólidos sedimentables*: La denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentarán, bajo condiciones tranquilas, por acción de la gravedad.

(Romero, 1999. (1)).

1.6.6. Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de

sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por ello, el valor de la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos.

(Romero, 1999. (1)).

1.6.7. Salinidad

Cuando en el agua el constituyente principal es cloruro de sodio y la concentración es mayor de lo usual, se dice que el agua es salina. La salinidad se puede expresar como número de gramos por kilogramo de muestra; por ello se expresa en partes por mil ⁰/₀₀.

La medida de la salinidad supone que la muestra contiene una mezcla estándar de sal y de agua de mar. Los métodos estándar la definen como los sólidos totales en el agua cuando todos los carbonatos han sido convertidos en óxidos, todos los bromuros y yoduros han sido reemplazados por una cantidad equivalente de cloruros y toda la materia orgánica ha sido oxidada. Numéricamente es menor que los sólidos disueltos, o residuo filtrable, y es un valor importante en aguas de mar y ciertos residuos industriales.

(Romero, 1999. (1)).

1.7. Análisis químico del agua

El agua es un compuesto de hidrógeno y oxígeno (H_2O). Los antiguos filósofos consideraban el agua como un elemento básico que representaba a todas las sustancias líquidas. Los científicos no descartaron esta idea hasta la última mitad del siglo XVIII.

En 1781 el químico británico Henry Cavendish sintetizó agua detonando una mezcla de hidrógeno y aire. Sin embargo, los resultados de este experimento no fueron interpretados claramente hasta dos años más tarde, cuando el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier propuso que el agua no era un elemento sino un compuesto de oxígeno e hidrógeno.

En un documento científico presentado en 1804, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac y el naturalista alemán Alexander von Humboldt demostraron conjuntamente que el agua consistía en dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, tal como se expresa en la fórmula actual H_2O .

Casi todo el hidrógeno del agua tiene una masa atómica de 1. El químico estadounidense Harold Clayton Urey descubrió en 1932 la presencia en el agua de una pequeña cantidad (1 parte por 6,000) de lo que se denomina agua pesada u óxido de deuterio (D_2O); el deuterio es el isótopo del hidrógeno con masa atómica 2.

En 1951 el químico estadounidense Aristid Grosse descubrió que el agua existente en la naturaleza contiene también cantidades mínimas de óxido de tritio (T_2O); el tritio es el isótopo del hidrógeno con masa atómica 3.

Debido a su capacidad de disolver numerosas sustancias en grandes cantidades, el agua pura casi no existe en la naturaleza.

En su circulación por encima y a través de la corteza terrestre, el agua reacciona con los minerales del suelo y de las rocas. Los principales componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son los sulfatos, los cloruros, los bicarbonatos de sodio y potasio, y los óxidos de calcio y magnesio.

(<http://www.html.rincondelvago.com/agua.html>).

1.7.1. Alcalinidad

La alcalinidad del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, de reaccionar con iones hidrógeno, su capacidad para aceptar protones, así como la media de su contenido total de sustancias alcalinas. La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón del agua.

En la coagulación química, las sustancias usadas como coagulantes reaccionan para formar precipitados de hidróxidos insolubles.

Para que ocurra una coagulación completa y efectiva, es necesario un exceso de alcalinidad. En el ablandamiento del agua por métodos de precipitación, la alcalinidad es un dato necesario para el cálculo de la cantidad de cal y carbonato de sodio necesario para el proceso. En los ensayos de estabilidad con carbonato de calcio, cálculo de índice de saturación de Langelier, la alcalinidad de las aguas debe conocerse.

En aguas naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de iones: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

En algunas aguas es posible encontrar otra clase de compuestos (boratos, silicatos, fosfatos, etcétera.) que contribuyen a su alcalinidad; sin embargo, en la práctica la contribución de éstos es insignificante y puede ignorarse. (Romero, 1999. (1)).

1.7.2. Acidez

La acidez del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, reaccionar con iones hidroxilo, ceder protones o como la media de su contenido total de sustancias ácidas.

La determinación de la acidez es de importancia en ingeniería sanitaria debido a las características corrosivas de las aguas ácidas y al costo que supone la remoción y el control de las sustancias que producen corrosión.

El factor de corrosión en la mayoría de las aguas es el bióxido de carbono, especialmente cuando está acompañado de oxígeno, pero en residuos industriales es la acidez mineral. El contenido de CO₂ es también un factor muy importante para la estimación de la dosis de cal y soda en el ablandamiento de aguas duras. En aguas naturales la acidez puede ser producida por el CO₂, por la presencia de iones H⁺ libres, por la presencia de acidez mineral proveniente de ácidos fuertes como el sulfúrico, nítrico, clorhídrico, etcétera; y por la hidrolización de sales de ácido fuerte y base débil.

La causa más común de acidez en aguas es el CO₂, el cual puede estar disuelto en el agua como resultado de las reacciones coagulantes químicos usados en el tratamiento o de la oxidación de materia orgánica, o por disolución del dióxido de carbono atmosférico. El dióxido de carbono es un gas incoloro, no combustible, 1.53 veces más pesado que el aire, ligeramente soluble en agua. (Romero, 1999. (1)).

1.7.3. Dureza

Como *aguas duras* se consideran aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente,

calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua.

En términos de dureza las aguas pueden clasificarse así:

0 – 75 mg / l	Blanda
75 – 150 mg / l	Moderadamente dura
150 – 300 mg / l	Dura
> 300 mg / l	Muy Dura

La dureza se expresa en mg / l como CaCO_3 .

(Romero, 1999. (1)).

Causas de dureza

Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras son tan satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas; sin embargo, un agua dura requiere demasiado jabón para la formación de espuma y crea problemas de lavado; además deposita lodo e incrustaciones sobre las superficies con las cuales entra en contacto y en los recipientes, calderas o calentadores en los cuales es calentada. El valor de la dureza determina, por lo tanto, su conveniencia para uso doméstico e industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento. El tipo de ablandamiento por usar y su control dependen de la adecuada determinación de la magnitud y clase de dureza. (Romero, 1999. (1)).

Dureza carbonatada

En aguas naturales los bicarbonatos son la principal forma de alcalinidad; por lo tanto, la parte de la dureza total químicamente equivalente a los bicarbonatos presentes en el agua es considerada como la dureza carbonatada. Es decir:

Alcalinidad (mg / l) = dureza carbonatada (mg / l)

La dureza carbonatada se conoce también como “dureza temporal” o “no permanente” porque desaparece cuando se hierve el agua, es decir que puede precipitarse mediante ebullición prolongada.

La precipitación de la dureza carbonatada produce una incrustación o depósito suave que es fácilmente removible mediante soplado y agua a presión. (Romero, 1999. (1)).

Dureza no carbonatada

La dureza no carbonatada incluye principalmente sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio. La evaporación de aguas que contienen estos iones produce la cristalización de compuestos como sulfato de calcio, que forman una incrustación dura y frágil en las paredes y tubos de calderas y calentadores. La incrustación produce una pérdida en la conductividad del calor y da como resultado un mayor consumo de combustible por kilogramo de vapor obtenido. Además, la producción súbita de grandes volúmenes de vapor, cuando las incrustaciones gruesas se rompen y el agua entra en contacto con las superficies de metal recalentado, puede ocasionar explosiones. (Romero, 1999. (1)).

1.7.4. Grupo del nitrógeno

Los compuestos del nitrógeno son de gran interés para los ingenieros ambientales debido a su importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales. La química del nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que puede asumir este elemento y el hecho de que los cambios en la valencia pueden ser efectuados por organismos vivos. Para añadir aun más interés, los cambios efectuados por las bacterias pueden ser positivos o negativos, según si las condiciones son aerobias o anaerobias.

Las formas de mayor interés, son el nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos, nitrógeno de nitratos y nitrógeno orgánico.

Los animales y los humanos utilizan las proteínas de las plantas para su subsistencia. Los compuestos de nitrógeno no utilizados son arrojados en los excrementos. Éstos, y la materia remanente de los animales muertos y plantas, son convertidos en amoníaco por las bacterias.

En la orina existe el nitrógeno principalmente como urea, la cual es hidrolizada rápidamente por la ureasa en carbonato de amonio.

El amoníaco producido por la acción bacteriana sobre la urea y las proteínas puede ser usado directamente por las plantas. Si se produce un exceso de los requerimientos de las plantas, tal exceso es oxidado por las bacterias nitrificantes. Un grupo, conocido como las formadoras de nitrito, nitroso – bacterias, convierte amoníaco en nitritos bajo condiciones aerobias.

Un segundo grupo, las nitro – bacterias, oxida los nitritos para formar nitratos

Los nitritos formados sirven como fertilizantes para las plantas. El proceso se conoce con el nombre de *nitrificación* y se usa como primera etapa en el tratamiento de aguas residuales que contienen nitrógeno amoniacal, cuando se requiere remoción biológica de nitrógeno.

En condiciones anaeróbicas los nitritos son reducidos y éstos a gas nitrógeno por bacterias. El proceso se conoce con el nombre de *desnitrificación* y se supone ocurre en dos pasos sucesivos: la reducción inicial de los nitratos en nitritos y la de éstos en nitrógeno gaseoso.

En suelos, la reducción a gas nitrógeno representa una pérdida de fertilizante; en plantas de lodos activados constituye muchas veces un problema serio al producir un levantamiento de los lodos. En tratamiento de aguas residuales que requieren también remoción de nitrógeno se usa para dicho propósito. Los resultados para todas las formas del nitrógeno se expresan en mg / l de Nitrógeno – N.

En muchas aguas se encuentran pequeñas cantidades de nitrógeno amoniacal en forma natural; otras veces porque se aplica junto con cloro para formar un residual de cloro combinado. Las aguas residuales domésticas crudas contienen del orden de 10 a 25 mg / l de nitrógeno amoniacal expresado como N. Un incremento súbito del contenido normal de nitrógeno amoniacal en el agua implica la presencia de contaminación por aguas residuales y el correspondiente incremento en la demanda de cloro. (Romero, 1999. (1)).

1.7.5. Grupo del azufre

Tanto en la purificación de aguas como en el tratamiento de aguas residuales se presentan diferentes formas químicas del azufre que son de interés. Formas como ion sulfuro, S^{2-} ; ion hidrosulfuro, HS^- ; ácido sulfhídrico, H_2S ; tiosulfato de sodio, $Na_2S_2O_3$; ion tiosulfato, $S_2O_3^{2-}$; dióxido de azufre, SO_2 ; biosulfato de sodio, $NaHSO_3$; ion sulfito, SO_3^{2-} ; ácido sulfuroso, H_2SO_3 ; ion bisulfato HSO_3^- ; ion sulfito, SO_3^{2-} ; ácido sulfúrico, H_2SO_4 ; ion bisulfato, HSO_4^- , e ion sulfato, SO_4^{2-} , son ejemplos comunes. (Romero, 1999. (1)).

1.7.5.1. Sulfatos

El ion sulfato es uno de los aniones más comunes en las aguas naturales; se encuentra en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg / l. Como sulfatos de sodio y de magnesio tienen un efecto purgante, se recomienda un límite superior en aguas potables de 250 mg / l de sulfatos.

En aguas residuales la cantidad de sulfatos es un factor muy importante para la determinación de los problemas que pueden surgir por olor y corrosión de las alcantarillas.

Dichos problemas son el resultado de la reducción de los sulfatos a ácido sulfhídrico (H_2S), bajo condiciones anaerobias:

Al producirse H_2S se tienen serios problemas por olor; la subsecuente oxidación del H_2S , por ciertas bacterias, permite el ataque del concreto por el H_2SO_4 (ácido fuerte). (Romero, 1999. (1)).

1.7.5.2. Sulfuros

Se entiende por sulfuros los compuestos de azufre con número de oxidación -2. Incluyen ácido sulfhídrico, H_2S , o sulfuro de hidrógeno, e ion hidrosulfuro, HS^- , así como sulfuros metálicos solubles en ácido y otros sulfuros insolubles.

Los sulfuros son comunes en aguas residuales domésticas e industriales, donde se encuentran en forma suspendida o disuelta. En general, los sulfuros insolubles no superan el nivel de 1 mg / l; el resto está en forma disuelta como H_2S y como ion hidrosulfuro HS^- , dependiendo del pH. Algunos sulfuros como los del cobre y plata son prácticamente insolubles y pueden ignorarse para determinaciones rutinarias.

Los sulfuros también se presentan en aguas subterráneas y en aguas superficiales, como resultado de la descomposición biológica anaerobia de la materia orgánica.

El H_2S , gas en condiciones normales, es soluble en agua en concentraciones de 3000 – 4000 mg / l; por ello es posible encontrar concentraciones altas de sulfuros en aguas residuales, lo cual incrementa su demanda de cloro, hace más difícil su tratamiento aerobio, causa malos olores, oscurece las pinturas con base de plomo, produce atmósferas letales en los alcantarillados y corrosión del concreto y los metales. En general, a pH mayor de 8, la mayor parte de los sulfuros existen en solución como HS^- e ion $\text{S}^{=}$ y la concentración de H_2S libre es significativa, con la consecuente ausencia

de problemas de malos olores. Sin embargo, a pH menor de 7, la concentración de H₂S puede ser lo suficientemente grande como para causar problemas serios de olores.

En los digestores de lodos una concentración alta de sulfuros, mayor de 200 mg / l, afecta el desarrollo apropiado del proceso de digestión. (Romero, 1999. (1)).

1.7.5.3. Sulfitos

Se entiende por sulfitos los compuestos de azufre con número de oxidación +4. Se encuentran en algunos residuos industriales y aguas contaminadas, pero generalmente son de interés en aguas de calderas donde se trata el agua con sulfito de sodio para reducir el oxígeno disuelto del agua a un mínimo y prevenir la corrosión.

En general, en aguas naturales no se encuentran sulfitos, pues las aguas que contienen sulfitos, al ser descargadas, reaccionan con el oxígeno para formar sulfatos.

También son de interés en efluentes tratados con SO₂ para dechloración. El exceso de ion sulfito, SO₃⁼, en aguas para calderas, es perjudicial porque baja el pH y promueve corrosión; por otra parte, el ion sulfito es tóxico para los peces y la vida acuática pues ejerce una demanda rápida de oxígeno. (Romero, 1999. (1)).

1.7.6. Cloruros

Los cloruros aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente. En las aguas de mar el nivel de cloruros es muy alto, en promedio de 19,000 mg / l; constituyen un anión predominante. En aguas superficiales, sin embargo, su contenido es generalmente menor que el de los bicarbonatos y sulfatos.

Los cloruros logran acceso a las aguas naturales en muchas formas: el poder disolvente del agua introduce cloruros de la capa vegetal y de las formaciones más profundas; las aguas de mar son más densas y fluyen aguas arriba a través del agua dulce de los ríos que fluyen aguas abajo, ocasionando una mezcla constante de agua salada con el agua dulce.

Los excrementos humanos, principalmente la orina, contiene cloruros en cantidades casi igual a la de los cloruros consumidos con los alimentos y el agua. Esta cantidad es en promedio unos 6 gramos de cloruros por persona por día, e incrementa el contenido de Cl en las aguas residuales en unos 20 mg / l por encima del contenido propio del agua. Por consiguiente, los efluentes de aguas residuales añaden cantidades considerables de cloruros a las fuentes receptoras.

Muchos residuos industriales contienen cantidades apreciables de cloruros. Los cloruros en concentraciones razonables no son peligrosos para la salud y son un elemento esencial para las plantas y los animales. En concentraciones por encima de 250 mg / l producen un sabor salado en el agua, el cual es rechazado por el consumidor; para consumo humano el contenido de cloruros se limita a 250 mg / l. Sin embargo, hay áreas donde se consumen aguas con 2000 mg / l de cloruros, sin efectos adversos, gracias a la adaptación del organismo.

Para detectar contaminación por aguas residuales y por residuos industriales se usan ciertos colorantes, nitritos y materiales radioactivos. En los sitios donde es necesario usar agua salada para consumo doméstico, el contenido de cloruros es un factor importante para determinar el tipo de aparato de desalinización que debe usarse. Los cloruros interfieren la determinación de nitratos y demanda química de oxígeno. (Romero, 1999. (1)).

1.7.7. Fluoruros

Existe un doble interés en la determinación de fluoruros; por una parte es responsable del diseño y operación de unidades de tratamiento para remoción de fluoruros, en aguas que contienen cantidades excesivas, y, por otra parte, es responsable de supervisar y fomentar la adición de fluoruros en dosis óptimas a los suministros de agua.

La mayoría de los fluoruros son de baja solubilidad; por ello la concentración de fluoruros en aguas naturales es normalmente baja, generalmente menor de 1 mg / l en aguas superficiales, raras veces mayor de 10 mg / l excepcionalmente más de 50 mg / l – F.

El flúor es el elemento más activo conocido y por su gran actividad no existe libre en la naturaleza.

Es necesario, conocer la concentración de flúor existente en el agua para adicionarlo o removerlo según sea el caso. El tamaño y el diseño de las unidades de dosificación o remoción de fluoruros dependerán de la concentración de fluoruros en el agua. La determinación de fluoruros es necesaria para controlar su nivel presente en los suministros de agua y para determinar cuándo las unidades de remoción requieren regeneración. (Romero, 1999. (1)).

1.7.8. Hierro y magnesio

Tanto el hierro como el magnesio crean problemas en suministros de agua. En general estos problemas son más comunes en aguas subterráneas y en aguas de hipolimnio anaerobio de lagos estratificados; en algunos casos también en aguas superficiales provenientes de algunos ríos y embalses.

El hierro existe en suelos y minerales principalmente como óxido férrico insoluble y sulfuro de hierro, FeS_2 , pirita. En algunos casos se presenta también como carbonato ferroso, siderita, el cual es muy poco soluble.

El manganeso existe en el suelo principalmente como dióxido de manganeso, el cual es muy insoluble en aguas que contienen dióxido de carbono. Bajo condiciones anaeróbicas, el manganeso en la forma de dióxido es reducido de una valencia +4 a una valencia +2 y se presenta una solución de la misma manera que con los óxidos férricos.

Las aguas con hierro y manganeso al ser expuestas al aire, por acción del oxígeno, se hacen turbias e inaceptables estéticamente debido a la oxidación del hierro y el manganeso solubles, en Fe^{+++} y Mn^{4+} , los cuales forman precipitados coloidales. La tasa de oxidación es lenta y por ello el hierro y el manganeso soluble pueden persistir por algún tiempo en aguas aireadas; esto es generalmente válido para el hierro cuando el pH es menor de 6 y para el manganeso cuando el pH es menor de 9.

En aguas superficiales las concentraciones de hierro son generalmente bajas, menores de 1 mg / l. Las aguas subterráneas, por lo contrario, pueden contener cantidades apreciables de hierro, comúnmente hasta 10 mg / l; raras veces hasta 50 mg / l en aguas anóxicas con baja alcalinidad.

Tanto el Hierro como el manganeso interfieren las operaciones de lavado, imparten coloraciones indeseables a los accesorios de plomería, causan incrustaciones en las tuberías y dificultades en los sistemas de distribución al soportar crecimientos de bacterias del hierro: *Crenothrix*, *Leptothrix*, *Galionella*, y del manganeso: *Sphaerotilus*, *Leptothrix*; también ocasionan una demanda alta de cloro.

El hierro y el manganeso, además, en bajas concentraciones, imparten sabores metálicos al agua. Hasta donde se conoce, el consumo humano de aguas con hierro y manganeso no tienen efectos nocivos para la salud.

Contenidos de hierro y manganeso en exceso de 0.3 y 0.1 mg / l, respectivamente, son objetables y, por ello, en general, aguas con contenido mayor de estos límites requieren tratamiento. La determinación es necesaria, además, para establecer el tipo de tratamiento requerido, controlar el proceso de purificación y ayudar en la solución de problemas de bacterias fijadoras del hierro en sistemas de distribución.

(Romero, 1999. (1)).

1.7.9. Sílice

Con excepción del oxígeno, el silicio es el elemento más abundante en la corteza terrestre. En rocas se encuentra comúnmente en la forma de óxido de silicio, SiO_2 o sílice, y combinado con metales en los silicatos correspondientes. La mayor parte de la sílice disuelta en aguas proviene de la descomposición química de los silicatos en los procesos de metamorfismo o meteorización. El contenido de silicio presente en aguas se expresa en términos de su óxido, SiO_2 o sílice.

En la mayoría de las aguas naturales la concentración de sílice varía entre 1 – 30 mg / l suele ser menor de 100 mg / l y en casos raros mayor de 100 mg / l. En aguas residuales son comunes valores del orden de 15 mg / l y en algunas aguas termales salobres se encuentran concentraciones mayores de 1000 mg / l.

La sílice forma incrustaciones indeseables de silicato de magnesio y calcio en calderas de alta presión y deposita incrustaciones duras vítreas sobre los álabes de las turbinas de vapor. Las algas diatomáceas requieren silicio y por ello su abundancia en aguas está relacionada con el contenido de sílice. La remoción de sílice se efectúa generalmente mediante resinas de intercambio aniónico o por destilación. Algunas veces se usa precipitación con óxido de magnesio conjuntamente con ablandamiento por medio de cal – soda. (Romero, 1999. (1)).

1.7.10. Fósforo

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales; actualmente es considerado como uno de los nutrientes que controla el crecimiento de las algas. Las algas requieren para su crecimiento fósforo y, consecuentemente, un exceso de fósforo produce un desarrollo exorbitado de algas, el cual es causa de condiciones inadecuadas para ciertos usos benéficos del agua.

El fósforo existe en aguas en varias formas; dichas formas se han calificado de distintas maneras, de acuerdo con los métodos de su determinación, lo cual ha contribuido a crear confusión sobre la terminología al respecto.

Las formas de importancia del fósforo en aguas son las siguientes:

- Ortofosfatos.
- Polifosfatos: pirofosfatos, tripolifosfatos y metafosfatos.
- Fosfatos orgánicos.

Teniendo en cuenta la importancia del fósforo como nutriente, su determinación es necesaria en estudios de contaminación de ríos, lagos y embalses, así como en los procesos químicos y biológicos de purificación y tratamiento de aguas residuales.

La descarga de 1 g de fósforo, en un lago, puede permitir la formación más de 100 g de biomasa (materia orgánica), la cual puede representar una DBO de 150 g de oxígeno para su oxidación aerobia completa, además de los problemas de eutrofización y crecimientos de fitoplancton.

En general, en aguas residuales la concentración de fósforo es baja, de 0.01 a 1 mg / l – P; en aguas residuales domésticas varía normalmente entre 1 – 15 mg / l – P; en aguas de drenaje agrícola entre 0.05 – 1 mg / l – P y en aguas superficiales de lagos entre 0.01 – 0.04 mg / l – P. (Romero, 1999. (1)).

1.7.11. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es muy importante en la ingeniería ambiental por ser el factor que determina la existencia de condiciones aerobias o anaerobias en un medio particular. La determinación de OD sirve como base para cuantificar DBO; aerobicidad de los procesos de tratamiento, tasas de aeración en los procesos de tratamiento aerobio y grado de contaminación de ríos. El OD se presenta en cantidades variables y bajas en el agua; su contenido depende de la concentración y estabilidad de material orgánico presente y es, por ello, un factor muy importante en la autopurificación de los ríos. Los valores de OD en aguas son bajos y disminuyen con la temperatura.

Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha licuado en el agua. Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores también afectan los niveles de OD; por ejemplo, en un día soleado se producen altos niveles de OD en áreas donde hay muchas algas o plantas debido a la fotosíntesis. La turbulencia de la corriente también puede aumentar los niveles de OD debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente y el oxígeno del aire se disolverá en el agua.

El agua más fría puede guardar más oxígeno en ella que el agua más caliente. Una diferencia en los niveles de OD puede detectarse en el sitio de la prueba si se hace la prueba temprano en la mañana cuando el agua está fría y luego se repite en la tarde en un día soleado cuando la temperatura del agua haya subido. Una diferencia en los niveles de OD también puede verse entre las temperaturas del agua en el invierno y las temperaturas del agua en el verano. Asimismo, una diferencia en los niveles de OD puede ser aparente a diferentes profundidades del agua si hay un cambio significativo en la temperatura del agua.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0 - 18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5 - 6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática. Además, los niveles de OD a veces se expresan en términos de porcentaje de saturación.

(<http://www.ciese.org/curriculum/dipproj2/es/fieldbook/oxigeno.shtml>;

Romero, 1999. (1)).).

1.7.11.1. Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. La determinación de DQO es una medida orgánica presente en una muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte.

Específicamente representa el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por dicromato en solución ácida. El ensayo tiene la ventaja de ser más rápido que el de DBO y no está sujeto a tantas variables como las que pueden presentarse en el ensayo biológico. Todos los compuestos orgánicos, con unas pocas excepciones, pueden ser oxidados a CO₂ y agua mediante la acción de agentes oxidantes fuertes, en condiciones ácidas.

La oxidación de la mayoría de las formas de materia orgánica se efectúa mediante ebullición de la muestra con una mezcla de ácido sulfúrico y un exceso de dicromato de potasio estándar. La mezcla formada por la muestra más cantidades conocidas de dicromato de potasio y ácido sulfúrico es sometida a reflujo por dos horas; durante el periodo de reflujo el material orgánico oxidable reduce una cantidad equivalente de dicromato; el dicromato remanente se determina mediante titulación con sulfato ferroso

amoniaco estándar. La cantidad de dicromato reducida (cantidad inicial – cantidad remanente cantidad reducida) es una medida de la materia orgánica oxidada. (Romero, 1999. (1)).

1.7.11.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas y aguas residuales es el ensayo de DBO a cinco días. Esencialmente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un periodo de 5 días y a 20 °C.

En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a 5 días representa en promedio un 65 a 70 % del total de la materia oxidable. La DBO, como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como conocimiento de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables.

La temperatura escogida para determinar el valor de DBO es de 20 °C y debe mantenerse constante durante el tiempo del ensayo; la velocidad de las reacciones durante el ensayo se verá afectada si se modifica la temperatura; por consiguiente los resultados obtenidos no serían los correspondientes al procedimiento estándar y, en consecuencia, no serían comparables. (Romero, 1999. (1)).

1.7.12. Sodio

El sodio es un metal muy activo que no existe libre en la naturaleza. Todas las sales de sodio son muy solubles en agua; por ello es muy común encontrar aguas con sodio. En

aguas de mar el sodio es el catión más abundante; se encuentra en concentraciones del orden de 1 g / l, lo que demuestra que el sodio tiende a permanecer soluble una vez disuelto en el agua. Tanto en aguas de mar como en aguas salinas es muy común encontrar el sodio asociado con los cloruros. En agua dulce el contenido de sodio es muy variable, generalmente entre 10 – 100 mg / l. En aguas residuales el sodio proviene principalmente de la orina, 1 % de cloruro de sodio, así como del contenido propio de agua de suministro y de las sales de uso industrial. Generalmente el contenido de sodio en las aguas residuales se incrementa por las razones anteriores en unos 40 – 70 mg / l.

En aguas de consumo humano no se limita la concentración de sodio a un valor específico. Sin embargo, personas con enfermedades cardíacas, renales y circulatorias requieren dietas bajas en sodio.

En aguas para irrigación de sodio como bicarbonato o carbonato puede ser perjudicial para el suelo y las plantas; en tales condiciones tiende a aumentar la alcalinidad del suelo debido a la precipitación de carbonato de sodio, reduce la concentración de calcio en el suelo y su permeabilidad, disminuye la fertilidad del suelo y perjudica las plantas. El sodio hace al suelo impermeable al aire y al agua; además, cuando el suelo se humedece, se vuelve plástico y pegajoso.

El sodio se remueve del agua mediante intercambio catiónico con resinas del ciclo del hidrógeno; también se usan procesos de ósmosis inversa, evaporación y electrodiálisis. (Romero, 1999. (1)).

1.7.13. Potasio

El potasio se encuentra en la naturaleza en la forma iónica o molecular; es un elemento muy activo que reacciona vigorosamente con el oxígeno y el agua. Muchas de sus características son semejantes a las del sodio y sirve por ello como sustituto del sodio

en muchas sales de uso industrial; sin embargo, es más costoso que el sodio y por ello de uso menos frecuente. Algunas veces se acostumbra a analizarlos conjuntamente.

En general se presenta en concentraciones menores que las del sodio; normalmente la concentración de potasio en aguas superficiales es menor de 15 mg / l, en aguas subterráneas menor de 10 mg / l y en aguas salobres o manantiales cálidos puede ser mayor de 100 mg / l.

El potasio es un elemento nutriente esencial y en dosis de 1 a 2 g es catártico; por ello se considera recomendable un límite de 1000 a 2000 mg / l de potasio en aguas de consumo, aunque las normas de agua potable no especifican ningún límite. El potasio puede removerse mediante intercambio catiónico, evaporación y ósmosis inversa. (Romero, 1999. (1)).

1.7.14. Corrosividad

En abastecimientos municipales es recomendable suministrar agua no corrosiva, pues la corrosión puede limitar severamente la vida útil de las tuberías de distribución e introducir al agua metales como plomo, cadmio, zinc, cobre o hierro.

Los factores que, generalmente, favorecen la corrosividad del agua son:

- Valores de pH bajo.
- Oxígeno disuelto alto.
- Cloro residual libre alto.
- Alcalinidad baja.
- Concentración de sólidos disueltos alta.
- Dureza por calcio baja.
- Temperatura alta.

Teniendo en cuenta que el tratamiento convencional, generalmente coagulación con alumbre y cloración de cloro gaseoso, produce aguas corrosivas, se acostumbra incrementar el pH del agua con cal o agregar inhibidores de corrosión. Los inhibidores de corrosión más usados incluyen fosfatos inorgánicos, silicatos de sodio y mezclas de fosfatos y silicatos. (Romero, 1999. (1)).

1.7.15. Grasas y aceites

En el lenguaje común, se entiende por grasas y aceites al conjunto de sustancias pobremente solubles que se separan de la porción acuosa y flotan formando natas, películas y capas iridiscentes sobre el agua, muy ofensivas estéticamente. En aguas residuales, los aceites, las grasas y las ceras son los principales lípidos de importancia.

El parámetro grasas y aceites incluyen los ésteres de ácidos grasos de cadena larga, compuestos con cadenas largas de hidrocarburos, comúnmente con un grupo ácido carboxílico en un extremo; materiales solubles en solventes orgánicos, pero muy insolubles en agua debido a la estructura larga hidrofóbica del hidrocarburo. Estos compuestos sirven como alimento para las bacterias, puesto que pueden ser hidrolizados en los ácidos grasos y alcoholes correspondientes.

Las grasas y los aceites son muy difíciles de transportar en las tuberías del alcantarillado, reducen la capacidad del flujo de los conductos, son difíciles de atacar biológicamente y, generalmente, se requiere su remoción en plantas de pretratamiento. Las grasas y los aceites pueden constituir un problema serio de contaminación en rastros, frigoríficos, industrias empacadoras de carnes, fabricas de aceite de cocina y margarina, restaurantes, estaciones de servicio automotor e industrias de distinta índole. Su cuantificación es necesaria para determinar la necesidad del pretratamiento, la eficiencia de los procesos de remoción y el grado de contaminación por estos compuestos. En general, su

concentración para descarga sobre el sistema de alcantarillado se limita a menos de 200 mg / l.

En plantas convencionales de tratamiento, las grasas pueden permanecer en el efluente primario en forma emulsificada. A pesar de la destrucción de los agentes emulsificantes por el tratamiento biológico secundario, la grasa no utilizada se separa del agua y flota en los tanques de sedimentación secundaria. Las grasas y los aceites son uno de los problemas principales en la disposición de lodos crudos sobre el suelo; por ello, uno de los objetivos de la digestión de lodos es la reducción de ellos. Además, las grasas y los aceites afectan adversamente la transferencia del oxígeno del agua a las células e interfieren con su desempeño dentro del proceso de tratamiento biológico aerobio. La rotura de las emulsiones aceitosas puede requerir acidificación o agregación de coagulantes. (Romero, 1999. (1)).

1.8. Análisis bacteriológico del agua

Existe un grupo de enfermedades conocidas como enfermedades hídricas, pues su vía de transmisión se debe a la ingestión de agua contaminada. Es entonces conveniente analizar el agua desde el punto de vista bacteriológico.

(<http://www.qb.fcen.uba.ar/microinmuno/SeminarioAguas.htm>).

1.8.1. Elementos de microbiología y bacteriología

Todo organismo debe encontrar en su medio ambiente las unidades estructurales y las fuentes de energía necesarias para formar y mantener su estructura y organización. Dichos materiales son llamados nutrientes. Casi todos los organismos vivos requieren los siguientes nutrientes:

- Fuente de carbono.
- Fuente de energía.
- Fuente de nitrógeno.
- Agua.
- Fuente mineral.

Además, algunos organismos requieren ciertos factores accesorios de crecimiento tales como vitaminas y aminoácidos. Con base en sus requerimientos nutricionales es común clasificar los organismos como se indica en la **Tabla 1.8.1.(1)**.

Resumiendo, puede decirse que organismos *heterotróficos* son aquellos que obtienen el carbono solamente de compuestos orgánicos, es decir que viven a expensas de materia orgánica; por otra parte, organismos *autotróficos* son aquellos que utilizan CO₂ como fuente de carbón, es decir que viven a expensas de materia inorgánica.

Como con todos los organismos vivos, las especies de microorganismos forman asociaciones entre ellas, las cuales se acostumbra describir de la manera siguiente:

- *Simbiosis*: asociación de dos o más especies para mutuo beneficio.
- *Comensalismo*: Asociación de dos o más tipos de microorganismos de modo que uno de ellos es capaz de entregar, al otro u otros, elementos nutrientes provenientes de un substrato que, si no existiera la actividad mencionada, no podría ser utilizado por los demás tipos de organismos presentes.
- *Sinergismo*: Asociación de dos o más tipos de microorganismos para engendrar, mediante la actividad conjunta, resulta que no se podrían obtener por el desarrollo aislado de cada uno de los tipos de microorganismos.
- *Antagonismo o antibiosis*: Vida en común de dos o más especies de microorganismo, una de ellas francamente nociva para la otra hasta el extremo de hacerla sucumbir.

(Romero, 1999. (1)).

1.8.2. Esterilización

En el sentido bacteriológico esterilización significa la acción que logre la completa ausencia de microorganismos capaces de crecimiento; por consiguiente, la esterilización requiere que todos los organismos presentes en un material determinado sean capaces de reproducción. Factores por considerar en la aplicación de cualquier agente de esterilización son la tasa de mortalidad del organismo que se ha de destruir, el tiempo de exposición al agente letal y el tamaño inicial de la población de organismos.

En el laboratorio la esterilización es un proceso necesario para poder realizar los ensayos bacteriológicos, para identificar especies de organismos y para asegurar que no se introduzca ninguna contaminación a la muestra sometida a análisis. (Romero, 1999. (1)).

1.8.3. Microbiología del agua

El agua contiene suficientes sustancias nutritivas para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos. Muchas de las bacterias del agua provienen del contacto con el aire, el suelo, animales o plantas vivas o en descomposición, fuentes minerales y materia fecal.

La transmisión a través del agua de organismos patógenos ha sido la fuente más grave de epidemias de algunas enfermedades. Entre las enfermedades más conocidas cuyos gérmenes pueden ser transmitidos por el agua están las siguientes:

a. De origen bacterial

Fiebre tifoidea.	(<i>Salmonella typhi</i>).
Fiebre paratifoidea.	(<i>Salmonella paratyphi</i>).
Cólera.	(<i>Vibrio cholera</i>).
Tularemia.	(<i>Brucella tularensis</i>).
Disentería bacilar.	(<i>Shigella spp.</i>).
Gastroenteritis.	(<i>Salmonella spp.</i>).
Enfermedades de Weil.	(<i>Leptospira icterohaemorrhagiae</i>).
Infecciones del oído.	(<i>Pseudomonas aeruginosa</i>).

Las seis primeras son casi siempre el resultado de contaminación fecal. La enfermedad de Weil ocurre esporádicamente entre trabajadores de alcantarillado; el reservorio de la infección son las ratas. Los gérmenes pueden introducirse al hombre a través de heridas pequeñas de la piel, la boca y la nariz. Infecciones del oído por *Pseudomonas aurigenosa* se han encontrado en bañistas de aguas contaminadas.

b. Protozoos patógenos

Disentería amibiana.	(<i>Entamoeba histolytica</i>).
Giardiasis.	(<i>Giardia lamblia</i>).

Meningoencefalitis.	(<i>Naegleria gruberi</i>).
Criptosporidiosis.	(<i>Cryptosporidium</i>).

La amibiasis es una importante causa de morbilidad y mortalidad, particularmente entre los infantes. La infección se establece, en general, en el colon; con formas más severas en el hígado y el cerebro. La giardiasis es una enfermedad diarreica severa causada por el protozoo *Giardia lamblia*. El trofozoito, forma móvil o estado vegetativo de crecimiento del organismo, establece la infección en el intestino delgado y después de un periodo de crecimiento se enquista, en respuesta al sistema inmunológico y a los cambios en el intestino del huésped. Los individuos infectados pueden arrojar los quistes en sus excrementos, durante años, sin observar síntomas de la enfermedad.

La *meningoencefalitis amébrica primaria* es causada por el protozoo *Naegleria fowleri*; el *trofozoito* tiene acceso a través de los senos nasales la amiba migra a través del nervio olfatorio al cerebro y sus meninges, estableciendo una infección generalmente fatal.

c. Virus

Los principales virus asociados con el agua son:

- Gastroenteritis viral.
- Diarrea viral.
- Hepatitis infecciosa.
- Virus del polio (3 tipos).
- Virus Adeno (32 tipos).
- Virus Echo (34 tipos).
- Virus Cocksackie, grupo A (26 tipos).
- Virus Cocksackie, grupo B (6 tipos).
- Virus Reo (3 tipos).

El virus más importante asociado con epidemias de origen hídrico es el de la hepatitis infecciosa. Los demás son todos factores potenciales de epidemias de origen hídrico pues son arrojados en los excrementos humanos, aunque no existen pruebas evidentes de su diseminación en suministros de agua, hasta la fecha.

Los virus del grupo *Adeno*, generalmente, causan enfermedades del tracto respiratorio a los ojos; aunque no se ha comprobado su diseminación en suministros de agua, sí han existido algunas pruebas de diseminación en piscinas. Tanto lo virus *Echo* como los *Coxsackie* deben también considerarse como agentes potenciales de enfermedades transmisibles por el agua. Los virus del polio causan *poliomelitis parálitica* y *meningitis aséptica*; los virus *Cosackie* producen *herpangina*, *meningitis aséptica*, *parálisis pleurodinia* y *micarditis infantil aguda*; los virus *Echo* originan meningitis, fiebre y erupciones, diarrea y enfermedades respiratorias. Los virus no se pueden cultivar en medios artificiales en el laboratorio como se hace con las bacterias, pues deben desarrollarse sobre células vivas y su estudio requiere técnicas especializadas.

(Romero, 1999. (1)).

La **Tabla 1.8.3.(1)**. Resume las principales enfermedades de origen hídrico.

TABLA 1.8.3.(1). ENFERMEDADES TRANSMISIBLES POR EL AGUA.

Enfermedad	Organismo causante	Fuente del organismo en el agua	Síntoma
Gastroenteritis	Salmonella	Excrementos humanos o de animales	Diarrea aguda y vómito
Tifoidea	Salmonella typhosa	Excrementos humanos	Intestino inflamado, bazo agrandado, alta temperatura, fatal
Disenteria	Shigella	Excrementos humanos	Diarrea
Cólera	Vibro comma	Excrementos humanos	Vómito, diarrea severa
Hepatitis infecciosa	Virus	Excrementos humanos, mariscos	Piel amarilla, dolores
Amibiasis	Entamoeba histolytica	Excrementos humanos	Diarrea, disenteria crónica
Giardiasis	Giardia lamblia	Excrementos humanos y animales	Diarrea, retortijones
Fuente: Romero, J. (1999), "Calidad del Agua", ALFAOMEGA México, p. 154.			

1.8.4. Examen bacteriológico del agua

El análisis bacteriológico del agua es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación del agua. El examen bacteriológico de abastecimientos de agua no implica la búsqueda directa de los gérmenes patógenos.

El ensayo se basa en el supuesto de que todas las aguas contaminadas con las de cloaca son potencialmente peligrosas. Por consiguiente, el control sanitario del agua se hace con métodos bacteriológicos para determinar la presencia de contaminación fecal. Ensayos para determinación de patógenos no se usan rutinariamente debido a que detectarlos en disoluciones estas es muy difícil y además se encuentran en número muy inferior al de las bacterias entéricas las cuales tienen una tasa de mortalidad mucho más lenta.

El examen bacteriológico del agua usualmente involucra dos ensayos: la estimación del número de bacterias de acuerdo con el conteo total en placa y la determinación, más significativa, de la presencia o ausencia de miembros del grupo coliforme.

(Romero, 1999. (1)).

1.8.5. El grupo coliforme

El grupo coliforme incluye las bacterias de forma bacilar, aerobias y facultativas anaerobias, Gram – negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 horas a 35 °C (ó 37 °C).

El número de organismos coliformes en los excrementos humanos es muy grande; la excreción diaria por habitante varía entre 125×10^9 y 400×10^9 . Su presencia en el agua es considerada como un índice evidente de la ocurrencia de contaminación fecal y por lo tanto de contaminación con organismos patógenos. En aguas residuales la relación de

organismos coliformes con organismos entéricos patógenos es muy grande, del orden de $10^6 / 1$. (Romero, 1999. (1)).

1.8.6. Criterios de calidad bacteriológica

En general, se han recomendado los siguientes criterios de calidad bacteriológica; en aguas para uso agrícola con restricciones, el conteo promedio de coliformes fecales debe ser menor de 5000 / 100 ml; en aguas para riego sin restricciones, la concentración de coliformes fecales debe ser menor de 100 / 100 ml, y en aguas para consumo humano, el conteo de coliformes debe ser menor de 1 / 100 ml ó 2.2 / 100 ml.

(Romero, 1999. (1)).

Los requerimientos de muestreo y las normas de calidad bacteriológica para abastecimientos de agua se presentan en las **Tablas 1.8.6.(1)** y **1.8.6.(2)**.

TABLA 1.8.6.(1). REQUERIMIENTOS DE MUESTREO PARA SUMINISTROS DE AGUA.

	Población servida	No. Mínimo de muestras por mes	Intervalo máximo entre muestras
FÍSICO – QUÍMICOS	<2,500	1	1 mes
pH, color, turbiedad, alcalinidad, cloruros, sulfatos, hierro, dureza y cloro residual	2,500 – 10,000	4	1 semana
	10,001 – 50,000	8	4 días
	50,001 – 100,000	12	3 días
	> 100,000	8	1 día
BACTERIOLÓGICO	< 2,500	2	1 mes
Número más probable de coliformes o conteo sobre filtro membrana	2,500 – 10,000	8	1 mes
	10,001 – 100,000	10 + 1 por c/ 1,000 hab.	4 días
	100,001 – 500,000	90 + 1 por c/ 10,000 hab.	1 día
	500,001 – 1,000,000	140 + 2 por c/100,000 hab.	1 día
	> 1,000,000	340 + 40 por c/ 1,000,000 hab.	1 día
Fuente: Romero, J. (1999), "Calidad del Agua", ALFAOMEGA México, p. 161.			

TABLA 1.8.6.(2). NORMAS DE CALIDAD BACTERIOLÓGICA PARA SUMINISTROS DE AGUA.

Método de coliformes	Muestras		
	Mensuales	<20 / Mes	> 20 / Mes
TÉCNICA DE TUBOS MÚLTIPLES (5 porciones normales de 10 ml)	El porcentaje de tubos positivos debe ser menor del 10 %	Hasta una muestra con 3 o más tubos positivos	Hasta un 5% de las muestras pueden tener 3 o más tubos positivos
TÉCNICAS DE FILTRO MEMBRANA	≤ 1 / 100 ml para el valor promedio de todas las muestras	Hasta 4 / 100 ml en una de las muestras del mes	4 / 100 ml en no más del 5 % de las muestras del mes
Fuente: Romero, J. (1999), "Calidad del Agua", ALFAOMEGA México, p. 161.			

1.9. Contaminación del agua

El problema de la contaminación de las aguas dulces es conocido desde la antigüedad. Uno de los primeros testimonios históricos lo constituye el relato de las Sagradas Escrituras (Éxodo, 7, 14-25) acerca de una de las diez plagas de Egipto, en la que se describe la transformación en “sangre” de las aguas del río Nilo. Dicho fenómeno fue sin duda debido a la contaminación biológica producida por microorganismos (algas, bacterias sulfurosas o dinofíceas). Con el incremento de la población y el surgimiento de la actividad industrial la polución de ríos, lagos y aguas subterráneas aumenta constantemente. La Organización Mundial de la Salud define a la polución de las aguas dulces de la siguiente manera: “Debe considerarse que un agua está polucionada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones a una u otra o al conjunto de utilidades a las que se hubiera destinado en su estado natural”.

La OMS ha establecido, también, los límites máximos para la presencia de sustancias nocivas en el agua de consumo humano (**Tabla 1.9.(1)**).

TABLA 1.9.(1). SUSTANCIAS NOCIVAS EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO.

Sustancias	Concentración. Máxima (mg/l)	Sustancias	Concentración. Máxima (mg/l)
Sales totales	2000	Arsénico	0,05
Cloruros	600	Cadmio	0,01
Sulfatos	300	Cianuros	0,05
Nitratos	45	Plomo	0,1
Nitritos	No debe haber	Mercurio	0,001
Amoniaco	0,5	Selenio	0,01
Materia. orgánica.	3	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	0,0002
Calcio	80	Biocidas	No hay datos
Magnesio	50	-	-

Fuente: http://www.monografias.com/trabajos_12/contagua.html.

De acuerdo a la definición que da la OMS para la contaminación debe considerarse también, tanto las modificaciones de las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, que pueden hacer perder a ésta su potabilidad para el consumo diario o su utilización para actividades domésticas, industriales, agrícolas, etcétera; como asimismo los cambios de temperatura provocados por emisiones de agua caliente (polución térmica).

En realidad, siempre hay una contaminación natural originada por restos animales, vegetales, por minerales y sustancias gaseosas que se disuelven cuando los cuerpos de agua atraviesan diferentes terrenos.

(http://www.rincondelvago.com/contaminacion-del-agua_4.html;

<http://www.monografias.com/trabajos12/contagua/contagua.shtml>).

1.9.1. Contaminación del agua freática o subterránea

El agua subterránea tiende a ser dulce (es decir, de muy baja salinidad) y potable (puede ser bebida sin riesgo). Sin embargo en ocasiones las capas freáticas son demasiado ricas en sales disueltas como para que el agua contenida pueda ser consumida, y eso mismo puede resultar inconveniente también para otros usos determinados. La circulación subterránea tiende a depurar el agua de partículas y microorganismos, pero en ocasiones éstos llegan al acuífero por contaminación debida a los usos humanos, como fosas sépticas o residuos agrícolas. El agua subterránea puede contaminarse por otras causas antropogénicas (debidas a los seres humanos), como la infiltración de nitratos y otros abonos químicos muy solubles usados en la agricultura, que suele ser una causa grave de contaminación de los suministros en llanuras de elevada productividad agrícola y densa población.

Algunos contaminantes se originan de la erosión natural de las formaciones rocosas. Otros contaminantes provienen de descargas de fábricas, productos agrícolas, o químicos utilizados por las personas en sus hogares y patios. Los contaminantes también pueden provenir de tanques de almacenamiento de agua, pozos sépticos, lugares con desperdicios peligrosos y vertederos. Actualmente, los contaminantes del agua subterránea que más preocupan son los compuestos orgánicos industriales, como disolventes, pesticidas, pinturas, barnices, o los combustibles, como la gasolina.

Otra parte lo forman los abonos químicos minerales, especialmente los nitratos, que son el contaminante inorgánico más conocido y quizás uno de los que genera mayor preocupación. El nitrato se origina de diferentes fuentes: aplicación de fertilizantes, pozos sépticos que no estén funcionando bien, lagunas de retención de desperdicios sólidos no impermeabilizadas por debajo y la infiltración de aguas residuales no tratadas.

La contaminación del agua subterránea es especialmente grave por su persistencia. Es una consecuencia de su pequeña tasa de renovación y largo tiempo de residencia. Además el agua no tiene la accesibilidad necesaria para usar procesos artificiales de depuración como los que se puede aplicar en caso de necesidad a los depósitos superficiales.

(http://www.es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea#Contaminaci.C3.B3n_del_agua_subterr.C3.A1nea#Contaminaci.C3.B3n_del_agua_subterr.C3.A1nea).

1.9.2. Contaminación de mares y océanos

Los océanos son el último sumidero para gran parte de los desechos de las actividades humanas. Los ríos arrastran las aguas contaminadas a los mares. Las comunidades costeras liberan las aguas negras sin tratamiento alguno, además de grandes cantidades de desechos sólidos y compuestos químicos contaminantes.

La oficina de la Administración de Alimentos y Drogas de Estados Unidos calcula que se están vaciando a los mares cerca de 500 mil diferentes clases de sustancias químicas. Algunos países arrojan en aguas profundas de los mares, materiales radiactivos en recipientes sellados.

Se dice que los océanos en zonas de aguas profundas pueden diluir, dispersar y degradar grandes cantidades de aguas negras, algunos desechos industriales y petróleo. En esto se presenta una controversia entre los científicos, algunos afirman que es mucho más seguro arrojar al mar en zonas profundas la mayoría de los desechos de las aguas negras y diversos desechos tóxicos y radiactivos que ponerlos bajo tierra o incinerarlos, mientras que otros aseguran que la vida marina es seriamente afectada por éstas actividades.

Otros científicos señalan que se sabe menos acerca de las profundidades de los océanos que del espacio exterior, y añaden que utilizar los océanos como vertedero para soportar las consecuencias del derroche de nuestro estilo de vida puede rebasar su capacidad de dilución y renovación. Utilizar los océanos como vertederos de nuestros desechos retrasa la urgente necesidad de prevenir su contaminación y disminuye los recursos marinos y genera la degradación posterior de la parte vital del sistema del soporte de la vida sobre la Tierra.

Desde 1985, por acuerdo internacional, se prohibió tirar desechos radiactivos a los océanos más allá de los límites de jurisdicción nacional, sin embargo, hay países como Estados Unidos que no lo hacen pero que no lo firmaron para guardarse la posibilidad de hacerlo cuando lo juzgue necesario.

En la mayoría de los países subdesarrollados y en algunos desarrollados que tienen costas descargan al mar sin ningún tratamiento las aguas del drenaje municipal y desechos industriales. Los mares más contaminados son los que tienen costas cercanas a

zonas muy pobladas como Bangladesh (Bengala), India, Paquistán, Indonesia, Malasia, Tailandia y Filipinas.

(http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/30agua.html).

1.9.3. Causas de la contaminación del agua

La contaminación del agua causada por las actividades del hombre es un fenómeno ambiental de importancia, se inicia desde los primeros intentos de industrialización, para transformarse en un problema generalizado, a partir de la revolución industrial, iniciada a comienzos del siglo XIX.

Los procesos de producción industrial iniciados en esta época requieren la utilización de grandes volúmenes de agua para la transformación de materias primas, siendo los efluentes de dichos procesos productivos, vertidos en los cauces naturales de agua (ríos, lagos, etcétera) con desechos contaminantes.

Desde entonces, esta situación se ha repetido en todos los países que han desarrollado la industrialización, y aún cuando la tecnología ha logrado reducir de alguna forma el volumen y tipo de contaminantes vertidos a los cauces naturales de agua, ello no ha ocurrido ni en la forma ni en la cantidad necesarias para que el problema de contaminación de las aguas esté resuelto.

Existen dos formas a través de las cuales se puede contaminar el agua. Una de ellas es por medio de contaminantes naturales, es decir, el ciclo natural del agua puede entrar en contacto con ciertos constituyentes contaminantes que se vierten en las aguas, atmósfera y corteza terrestre. Por ejemplo, sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión, tales como arsénico, cadmio, bacterias, arcillas, materias orgánicas, etcétera. Otra forma es a través de los contaminantes generados por el hombre o de origen humano, y son producto de los desechos líquidos y sólidos que se vierten directa o

indirectamente en el agua. Por ejemplo, las sustancias de sumideros sanitarios, sustancias provenientes de desechos industriales y las sustancias empleadas en el combate de plagas agrícolas y / o vectores de enfermedades.

(http://www.rincondelvago.com/contaminacion-del-agua_4.html).

En la **Tabla 1.9.3.(1)** se pueden observar los ingredientes tóxicos en productos cotidianos de uso doméstico e industrial

TABLA 1.9.3.(1). INGREDIENTES TÓXICOS EN PRODUCTOS DE USO COTIDIANO QUE CONTAMINAN EL AGUA.

PRODUCTO	INGREDIENTE	EFEECTO
Limpiadores domésticos	Polvos y limpiadores abrasivos Fosfato de sodio, amoníaco, etanol	Corrosivos, tóxicos e irritantes
Limpiadores con amonía	Amoníaco, etanol	Corrosivos, tóxicos e irritantes
Blanqueadores	Hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio o calcio	Tóxicos y corrosivos
Desinfectantes	Etilen y metilen glicol, hipoclorito de sodio	Tóxicos y corrosivos
Destapacaños	Hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hipoclorito de sodio, ácido clorhídrico, destilados de petróleo	Extremadamente corrosivos y tóxicos
Pulidores de pisos y muebles	Amoníaco, dietilenglicol, destilados de petróleo, nitrobenzeno, nafta y fenoles	Inflamables y tóxicos
Limpiadores y pulidores de metales	Tiourea y ácido sulfúrico	Corrosivos y tóxicos
Limpiadores de hornos	Hidróxido de potasio, hidróxido de sodio, amoníaco	Corrosivos y tóxicos
Limpiadores de inodoros	Ácido oxálico, ácido muriático, para diclorobenceno e hipoclorito de sodio	Corrosivos, tóxicos e irritantes
Limpiadores de alfombras	Naftaleno, percloroetileno, ácido oxálico y dietilenglicol	Corrosivos, tóxicos e irritantes
Productos en aerosol	Hidrocarburos. Inflamables	Tóxicos e irritantes
Pesticidas y repelentes de insectos	Organofosfatos, carbamatos y piretinas	Tóxicos y venenosos
Adhesivos	Hidrocarburos	Inflamables e irritantes
Anticongelantes	Etilenglicol	Tóxico
Gasolina	Tetraetilo de plomo	Tóxico e inflamable
Aceite para motor	Hidrocarburos, metales pesados	Tóxico e inflamable
Líquido de transmisión	Hidrocarburos, metales pesados	Tóxico e inflamable
Líquido limpiaparabrisas	Detergentes, metanol	Tóxico
Baterías	Ácido sulfúrico, plomo	Tóxico
Líquido para frenos	Glicoles, éteres	Inflamables
Cera para carrocerías	Naftas	Inflamable e irritante

Fuente: http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA.html.

1.9.4. Contaminantes físicos

Los contaminantes físicos afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica) y contaminación radioactiva.

(<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

1.9.5. Contaminantes químicos

Los contaminantes químicos comprenden tanto productos químicos inorgánicos como orgánicos dispersos en el agua.

Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. El resultado más importante por estos tipos de contaminantes es un posible efecto tóxico, más que la disminución en oxígeno. Sin embargo, hay casos en los cuales los compuestos inorgánicos presentan una demanda de oxígeno, contribuyendo a la disminución del mismo, los sulfitos y los nitritos, por ejemplo, toman oxígeno para oxidarse a sulfatos y nitratos respectivamente.

Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).

(<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

En la **Tabla 1.9.5.(1)** se pueden encontrar algunos de los compuestos que se han encontrado contaminando el agua con mayor frecuencia.

TABLA 1.9.5.(1). PRINCIPALES SUSTANCIAS Y COMPUESTOS CONTAMINANTES DEL AGUA.

Nombre	Aspecto	Empleo
Acroleína CH ₂ =CHCHO	Líquido soluble en agua, alcohol y éter.	Obtención de coloides metálicos, plásticos y perfumes.
Difenilhidracina C ₆ H ₅ NH.NHC ₆ H ₅	Poco soluble en agua y soluble en alcohol y éter.	Solvente de grasas, ceras y aceites.
Cloruro de metilo CH ₃ Cl	Gas incoloro soluble en agua y en alcohol.	En refrigeración.
Cloruro de metileno o diclorometano CH ₂ Cl ₂	Líquido incoloro, insoluble en agua y soluble en hidrocarburos.	Solvente de resinas, aceites, grasas y ceras.
Clordano C ₁₀ H ₆ C ₁₈	Líquido viscoso, insoluble en agua y soluble en hidrocarburos.	Poderoso insecticida.
Clorobenceno C ₆ H ₅ Cl	Líquido soluble en alcohol, cloroformo, éter y benceno.	Como solvente.
Antraceno C ₁₄ H ₁₀	Hojuelas amarillentas de fluorescencia azul, insoluble en agua y soluble en benceno.	Se usa en colorantes.
Diclorobencenos C ₆ H ₄ Cl ₂	Insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos.	Como insecticidas y en la fabricación de colorantes.
Diclorodifluorometano Freón. Cl ₂ CF ₂	Gas incoloro e inodoro, soluble en alcohol y éter.	En refrigeración y como extintor de incendios.
2,4 Dinitrofenol (NO ₂) ₂ C ₆ H ₃ OH	Cristales solubles en agua, alcohol y éter.	Conservación de madera, indicador de pH y en síntesis de colorantes.
Naftaleno C ₁₀ H ₈	Solubles en solventes orgánicos y solventes clorados	Como colorantes y fluidos de calibración.
Cloroformo CHCl ₃	Líquido poco soluble en agua, miscible con solventes orgánicos y aceites.	Como solvente de resinas, grasas, caucho y en extintores de fuego.
Bencidina C ₁₂ H ₁₂ N ₂ , H ₂ N-C ₆ H ₄ - C ₆ H ₄ -NH ₂	Polvo cristalino soluble en agua, alcohol y éter.	Fabricación de colorantes.
Benceno C ₆ H ₆	Líquido incoloro, inflamable, insoluble en agua.	Fabricación de medicamentos, plásticos (estireno), resinas fenólicas, nylon, colorantes (anilina), barnices, lacas y cuero sintético.
Tolueno C ₆ H ₅ CH ₃	Líquido refrigerante, inflamable, insoluble en agua y soluble en alcohol y éter.	Materia prima de la industria orgánica, de colorantes y explosivos. Solvente orgánico.
Fuente: http://www.sagan-gea.org/hojared/hoja12.htm .		

1.9.5.1. Contaminación por metales

Las aguas procedentes de las industrias como la minera, la de recubrimientos metálicos, las fundidoras y otras más, contaminan el agua con diversos metales. Por ejemplo, las sales de metales como el plomo, zinc, mercurio, plata, níquel, cadmio y arsénico son muy tóxicas para la flora y la fauna terrestre y acuática.

Las normas oficiales mexicanas contra la contaminación ambiental (publicadas en el Diario Oficial del 18 de octubre de 1993) consideran metales contaminantes del agua (en orden de importancia por su abundancia) a:

- | | | | | |
|---------------|---------------|--------------|---------------|----------------|
| 1. Aluminio | 2. Plata | 3. Cadmio | 4. Arsénico | 5. Cobre |
| 6. Hierro | 7. Mercurio | 8. Cobalto | 9. Vanadio | 10. Manganeseo |
| 11. Níquel | 12. Zinc | 13. Magnesio | 14. Antimonio | 15. Cromo |
| 16. Selenio | 17. Titanio | 18. Berilio | 19. Estaño | 20. Boro |
| 21. Molibdeno | 22. Tungsteno | 23. Germanio | 24. Bismuto | 25. Plomo |
| 26. Telurio | | | | |

(<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

Contaminación por metales pesados: plomo, mercurio y cadmio.

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicas y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. Al ser ingeridos por el hombre en el agua y alimentos contaminados por los compuestos de mercurio, plomo o cadmio le provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte.

- *Plomo*: La contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo sino por sus sales solubles en agua que son generadas por las fábricas de pinturas, de acumuladores, por alfarerías con esmaltado, en fototermografía, en pirotecnia, en la coloración a vidrios o por industrias químicas productoras de tetraetilo de plomo (se usa como antidetonante en gasolinas) y por algunas actividades mineras entre otras.

Todos los compuestos de plomo son tóxicos en diferente grado, dependiendo de su naturaleza química y grado de solubilidad de cada compuesto, los más tóxicos son los compuestos orgánicos.

Desde hace mucho tiempo se sabe que el plomo es venenoso, tiene efectos tóxicos para las plantas, el plancton y demás organismos acuáticos. Los compuestos de plomo en los peces les originan la formación de una película coagulante y les provoca alteraciones hematológicas.

- *Mercurio*: Los investigadores han encontrado que el mercurio y algunos compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser metilados por bacterias anaerobias en el lodo del fondo de los lagos y también por los peces y los mamíferos. Por lo que, los desechos que contienen mercurio o sus derivados que se han ido acumulando en los fondos fangosos de los lagos constituyen fuentes potenciales de contaminación y por procesos bioquímicos pueden incorporarse a las diversas cadenas alimenticias. Además los compuestos de mercurio son del tipo de sustancias acumulables en los organismos y pueden llegar a alcanzar concentraciones lo suficientemente altas para ser venenosos.

La contaminación del agua por mercurio es producido por industrias químicas que producen cloro, fábricas de fungicidas y de pinturas contra hongos, de plásticos, por minas de cinabrio (sulfuro de mercurio, HgS), en la extracción de oro y de plata por el método de amalgamación y por las refinerías del petróleo. Se considera que la mitad del

mercurio extraído es arrojado al medio ambiente, una parte en forma de vapor a la atmósfera y otra en los desechos industriales al suelo y al agua.

Los compuestos alquilmercúricos son muy tóxicos y de larga duración, son de efectos destructivos del cerebro y del sistema nervioso central, donde tienden a acumularse. Se usaban como desinfectantes de semillas pero se prohibió el uso de todos los derivados del mercurio en la agricultura. Sólo se permite el uso del cloruro mercúrico y mercurioso para controlar hongos en el pasto.

- *Cadmio*. El cadmio es tóxico y el envenenamiento se produce al inhalarlo o al ingerirlo, tiene gran tendencia a formar compuestos complejos acuosos en los que se une de uno a cuatro. Sus compuestos más importantes en la industria son el cianuro, la amina y varios complejos de haluros.

La contaminación del agua por cadmio es provocada por las principales áreas de aplicación que arrojan sus desechos a las alcantarillas, como son el acabado de metales, la electrónica, la manufactura de pigmentos (pinturas y agentes colorantes), de baterías (cadmio níquel), de estabilizadores plásticos, de plaguicidas (fungicidas), la electrodeposición o la aleaciones de fierro, en la producción de fierro y zinc, y en el uso de reactores nucleares.

El cadmio es tóxico para todas las formas de vida y en el hombre puede provocar daños en el aparato digestivo, en riñones y en los huesos (produce descalcificación y lesiones en la médula ósea) se pueden inhibir algunos procesos enzimáticos. La inhalación de sus vapores produce severas lesiones en los pulmones.

(<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

1.9.5.2. Contaminación por plaguicidas

El hombre ha descubierto productos químicos llamados plaguicidas para controlar o eliminar plagas que causan enfermedades y que interfieren con la producción agrícola; entre los que se encuentran: los *insecticidas* que se usan para combatir a los insectos, los *fungicidas* contra los hongos, los *herbicidas* contra plantas consideradas nocivas, los *rodenticidas* contra los roedores, los *nematocidas* contra los gusanos y los *moluscidas* contra los caracoles. Se calcula que actualmente se usan más de 3,500 plaguicidas orgánicos. Todos ellos pueden contaminar el agua.

La contaminación del agua por plaguicidas se produce al ser arrastrados por el agua de los campos de cultivo hasta los ríos y mares donde se introducen en las cadenas alimenticias provocando la muerte de varias formas de vida necesarias en el balance de algunos ecosistemas. Estos compuestos químicos han provocan la muerte de peces tanto en agua dulce como salada, también se acumulan en los tejidos de algunos peces los que a su vez ponen en peligro la vida de sus consumidores. Los plaguicidas acumulados en el agua ponen en peligro la vida de animales y vegetales acuáticos. En condiciones de laboratorio se ha observado que algunos de ellos son cancerígenos, teratogénicos y mutágenos en ratas, hámsteres y monos.

En el agua se han encontrado decenas de compuestos químicos utilizados como plaguicidas, de los cuales se conocen bien sus efectos en la salud.

Los insecticidas y pesticidas tienen un efecto acumulativo en la naturaleza, conocido como bioacumulación. (<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

1.9.5.3. Contaminación por petróleo

Los *hidrocarburos* son un tipo de contaminantes que afectan a la calidad del agua de manera importante. Los derrames de petróleo, cada día son más frecuentes en los océanos, dejan estelas de contaminación de efectos a muy largo plazo. La formación de una película impermeable sobre el agua en las zonas de derrame afecta rápida y directamente a las aves y a los mamíferos acuáticos ya que obstruye el intercambio gaseoso y desvía los rayos luminosos que aprovecha el fitoplancton para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis y cubre la piel y las branquias de los animales acuáticos provocándoles la muerte por asfixia.

La contaminación por petróleo crudo o por petróleo refinado (combustóleo, gasolina, y otros productos obtenidos por destilación fraccionada y procesamiento químico del petróleo crudo), es generada accidental o deliberadamente desde diferentes fuentes. Algunos investigadores consideran que la contaminación por petróleo proviene de los accidentes de los buque - tanques y de las fugas en los equipos de perforación marina, sin embargo, otros consideran que es cuestión de propaganda, ya que casi el 50 % del petróleo que llega a los mares y los océanos proviene de tierra firme, del que es arrojado al suelo por las personas en las ciudades y en zonas industriales que luego son arrastrados por las corrientes fluviales hasta terminar en los océanos.

En la explotación del petróleo se derrama cerca de la mitad en el área de perforación, lo que implica grandes pérdidas y contaminación del aire, agua y suelo.

(<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

Efectos de la contaminación por petróleo

Los efectos del petróleo sobre los ecosistemas marinos dependen de factores como: tipo de petróleo (crudo o refinado), cantidad, distancia del sitio contaminado con la playa,

época del año, condiciones atmosféricas, temperatura media del agua y corrientes oceánicas.

El petróleo derramado en el mar se evapora o es degradado en un proceso muy lento por bacterias. Los hidrocarburos orgánicos volátiles matan inmediatamente a varios tipos de organismos acuáticos, especialmente en etapa larvaria. En las aguas calientes se evapora a la atmósfera la mayor parte de este tipo de hidrocarburos en uno o dos días, y en aguas frías este proceso puede tardar hasta una semana.

(<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

1.9.5.4. Contaminación por sólidos

La cantidad y calidad de las basuras ofrecen muchas variantes que pueden relacionarse con la capacidad económica de ciertos núcleos de la población, con las técnicas y materiales empleados en el empaquetado y envasado, y con la época del año, que determina los artículos y alimentos de consumo que hay en el mercado.

Aunque la composición de la basura es heterogénea, sus componentes se pueden agrupar en función de la posibilidad de degradación biológica. Así, existen materiales de fácil degradación, constituida por materia orgánica putrescible, generalmente, por restos de alimentos; materiales de degradación lenta como los aceites, huesos, papel, trapo y algunos plásticos y otros materiales; y otros que no pueden ser degradados como el vidrio y la mayoría de los plásticos.

Los tiraderos de basura contaminan las aguas; cuando las lluvias o sus escurrimientos atraviesan lentamente los depósitos de basura que está fermentando, arrastran sustancias tóxicas y gérmenes patógenos al subsuelo hasta que llegan a las aguas freáticas (subterráneas) u otros acuíferos por escorrentía.

(<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

1.9.5.5. Contaminación por detergentes

Los detergentes son sustancias usadas para la limpieza; son compuestos de materiales orgánicos superficialmente activos en soluciones acuosas. Las moléculas de los compuestos superficialmente activos son grandes, un extremo de la molécula muy soluble en agua y la otra soluble en aceites; generalmente se usan como sales de sodio o potasio.

Los detergentes son productos que se usan para la limpieza y están formados básicamente por un agente *tensoactivo* que actúa modificando la tensión superficial disminuyendo la fuerza de adhesión de las partículas a una superficie y permiten la formación de burbujas estables de aire; gracias a su contenido de agentes superficiales activos o surfactantes. (<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

Importancia de los detergentes

Los detergentes causan problemas de espumas en aguas superficiales, lagos, plantas de lodos activados y, en general, en sitios de mezcla turbulenta de aguas residuales. Cuando la concentración de detergente es suficientemente alta, el sistema se vuelve estable gracias a la producción de una interfaz agua – detergente – aire de área superficial grande, creándose la muy visible y conocida espuma de detergentes.

La biodegradabilidad de los detergentes es muy variable. Dependiendo de su estructura química, pueden ser fácilmente descompuestos o difíciles de utilizar como alimento por las bacterias. Los fabricados con base de ABS son resistentes al ataque biológico por su composición molecular ramificada y por la adhesión de los anillos bencénicos a los átomos terciarios de carbono de los grupos de cadena ramificada. Los fabricados con base en LAS son biodegradables en condiciones aerobias, pero resistentes a la actividad

bacteriana anaerobia. Desde 1965, en Estados Unidos, los detergentes del tipo ABS fueron remplazados con los detergentes del tipo LAS.

El cambio en el tipo de detergente ha permitido minimizar los problemas de espumas de detergentes, pero su uso intensivo ha contribuido a un aumento de la concentración de fósforo en aguas residuales, con el consecuente problema de eutrofización en los lagos y embalse que reciben dichas aguas. La sustitución de los detergentes con base en fósforo no ha sido exitosa hasta la fecha, aunque hoy se usan fórmulas con una concentración menor que la usada anteriormente. Aproximadamente, el 60 % del fósforo en las aguas residuales provienen del uso casero de los detergentes. (Romero, 1999.).

1.9.6. Contaminantes biológicos

Los contaminantes biológicos incluyen hongos, bacterias y virus que provocan enfermedades, algas y otras plantas acuáticas. Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua.

Ciertas bacterias descomponen sustancias inorgánicas. La eliminación de los virus que se transportan en el agua es un trabajo muy difícil y costoso.

(<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

1.9.6.1. Contaminación por materia orgánica

La mayoría de la materia orgánica que contamina el agua procede de desechos de alimentos, de aguas negras domésticas e industrias, la cual es descompuesta por bacterias, protozoarios y diversos organismos mayores. Ese proceso de descomposición ocurre tanto en el agua como en la tierra y se lleva a cabo mediante reacciones químicas que requieren oxígeno para transformar sustancias ricas en energía en sustancias pobres

en energía. El oxígeno disuelto en el agua puede ser consumido por la fauna acuática a una velocidad mayor a la que es reemplazado desde la atmósfera, lo que ocasiona que los organismos acuáticos compitan por el oxígeno y en consecuencia se vea afectada la distribución de la vida acuática.

Una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica es la determinación de la rapidez con que la materia orgánica nutritiva consume oxígeno por la descomposición bacteriana y se le denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo.

TABLA 1.9.6.1.(1). VALORES TÍPICOS DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO PARA AGUAS DE DIFERENTE CALIDAD.

Tipo de agua	DBO mg / l
Agua potable	0.75 a 1.5
Agua poco contaminada	5 a 50
Agua potable negra municipal	100 a 400
Residuos industriales	5 00 a 10 000
Fuente: http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html .	

A la descomposición de la materia orgánica en presencia de oxígeno se le llama aerobiosis y es el proceso más eficiente para liberar la energía de la materia orgánica.

Cuando la materia orgánica que contamina al agua se ha agotado, la acción bacteriana de la desoxigenación de las aguas contaminadas oxida al ion amonio, proceso denominado nitrificación.

A los procesos de descomposición bacteriana anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de la materia orgánica se le llama anaerobiosis. A la descomposición anaeróbica (por enzimas

producidas por levaduras) de los carbohidratos o azúcares se le llama fermentación y a la descomposición bacteriana anaeróbica de las proteínas se le llama putrefacción. (<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

1.9.6.2. Contaminación por microorganismos patógenos

El hombre vive en relación íntima con los microorganismos sobre su piel y en su sistema digestivo. En estado de salud, los humanos y los microbios viven juntos para beneficio mutuo. Sin embargo, algunas personas sanas viven en armonía con organismos que pueden resultar patógenos para otros. Por otra parte, resulta muy fácil contaminar el agua con microorganismos como las bacterias intestinales por lo que es muy difícil mantener el agua potable libre de bacterias intestinales y además eliminarlas no es posible ni benéfico y resulta muy costoso.

Las bacterias coliformes son microorganismos inofensivos para el hombre y residen en su intestino grueso y abundan en la materia fecal. Forman parte de los desechos de las aguas negras y no se desarrollan en el agua, de manera que un recuento de las bacterias coliformes constituye un indicio del grado de contaminación de esas aguas.

Se considera que el número de microorganismos portadores de enfermedad en el agua es proporcional al número total de microorganismos y que una cantidad total baja representa un menor riesgo de contraer una enfermedad. Sin embargo, se han dado casos en que enfermedades virales han sido transmitidas por aguas que cumplen estrictamente con las normas de control de bacterias.

Por consiguiente, la presencia de cualquier impureza típica de las aguas negras, inclusive si no son perjudiciales en sí mismas, implica que el agua en que se encuentran no deja de ser fuente peligrosa de enfermedad.

(<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

1.10. Eutrofización

La eutrofización es un proceso natural de envejecimiento de agua estancada o de corriente lenta basada en cambios en el grado de nutrición o productividad.

La etapa más joven del ciclo se caracteriza por una concentración muy baja de nutrientes de las plantas y una productividad biológica pequeña. Tales lagos se les llama oligotróficos (del griego *oligo*, que significa poco y, *trófico* que significa alimentar, de tal forma que oligotrófico significa pocos nutrientes). En una etapa posterior de la sucesión, el lago se hace *mesotrófico* (meso igual a intermedio). A continuación el lago puede llegar a ser eutrófico (*eu* igual a bien) o altamente productivo. La etapa final antes de la desaparición puede ser una tierra húmeda, llámese una ciénaga o pantano.

El enriquecimiento y la sedimentación son los principales contribuyentes al proceso de envejecimiento. La vegetación en la orilla y las plantas acuáticas superiores utilizan parte de los nutrientes que llegan, crecen abundantemente y en consecuencia retienen los sedimentos. El lago gradualmente se va relleno acumulándose las plantas y los sedimentos en el fondo y haciéndose más pequeño por la invasión de la vegetación en las orillas, pudiendo llegar a ser tierra firme. La extinción de un lago, en consecuencia, es un resultado del enriquecimiento de, productividad, degradación y sedimentación.

Los problemas se inician cuando el hombre contamina lagos y ríos con exceso de nutrientes que generan la aceleración del proceso de eutrofización, que ocasiona el crecimiento acelerado de algas, la muerte de peces y demás flora y fauna acuática, generando condiciones anaeróbicas.

El proceso de eutrofización resulta de la utilización de fosfatos y nitratos como fertilizantes en los cultivos agrícolas, de la materia orgánica de la basura, de los detergentes hechos a base de fosfatos, que son arrastrados o arrojados a los ríos y lagos; éstos son un problema muy grave para las aguas estancadas cerca de los centros urbanos

o agrícolas. Durante las épocas cálidas la sobrecarga de estos productos químicos, que sirven de nutrientes, generan el crecimiento acelerado de vegetales como algas, cianobacterias, lirios acuáticos y lenteja de agua, las cuales al morir y ser descompuestas por las bacterias aeróbicas provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno, en las aguas de los lagos y ríos.

Las principales fuentes de nutrientes son las aguas negras y los escurrimientos agrícolas que originan el crecimiento masivo de algas y lirios, que genera grandes cantidades de masas vegetales sobre las aguas y su posterior acumulación sobre las riberas. Cuando las plantas mueren, para su descomposición consume el oxígeno disuelto en el agua provocando condiciones anaeróbicas. (<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>).

En la **Tabla 1.10.(1)** se describen algunos de los principales cambios que presenta el agua en la eutrofización.

TABLA 1.10.(1). ALGUNOS DE LOS CAMBIOS QUE OCURREN CON LA EUTROFIZACIÓN.

Cambios biológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta considerablemente el fitoplancton. Las algas verde - azules se desarrollan espectacularmente mientras que las de otros tipos desaparecen. • Aumenta la actividad bacteriana. • Los animales acuáticos enferman y mueren.
Cambios físicos	<ul style="list-style-type: none"> • Los restos de plantas y animales muertos se acumulan en los fondos, frenando la circulación del agua. • El agua se torna parda y maloliente. Cambia de color: rojo, verde, amarillo o pardo.
Cambios químicos	<ul style="list-style-type: none"> • El oxígeno disuelto baja de alrededor de 9 mg / l a 4 mg / l lo cual afecta negativamente y de inmediato a los organismos. Cuando el nivel baja a 2 mg / l todos los animales han muerto. Hay una significativa elevación de la DBO. • La concentración de compuestos nitrogenados, fosfatados se incrementa, así como la de otros elementos químicos.

Fuente: <http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>.

CAPÍTULO 2

CAPÍTULO 2. LAS AGUAS RESIDUALES

El hombre ha utilizado el agua no sólo para su consumo, sino con el paso del tiempo, para su comodidad y confort, convirtiendo las aguas usadas en vehículo de desechos. De aquí surge la denominación de aguas residuales.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido como uno de los derechos fundamentales de todo ser humano *el disfrute del grado máximo de salud posible*.

Considera la salud como un *estado complejo de bienestar físico, mental y social*, y fija el nivel de salud por el grado de armonía que exista entre el hombre y el medio que sirve de escenario a su vida.

La contaminación de las aguas es uno de los factores importantes que rompe la armonía entre el hombre y su medio tanto a corto, como a medio y largo plazo; por lo que la prevención y lucha contra ella constituye en la actualidad una necesidad de importancia prioritaria.

Contaminación, a los efectos de la Ley de Aguas, es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto impliquen una alteración perjudicial en su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

La contaminación de los cauces receptores superficiales y subterráneos (ríos, lagos, embalses, acuíferos, mar) tienen su origen en:

- Precipitación atmosférica.
- Escorrentía agrícola y de zonas verdes.
- Escorrentía superficial de zonas urbanizadas.

- Vertidos de aguas procedentes del uso doméstico.
- Descargas de vertidos industriales.

Dentro de las distintas clasificaciones que pueden establecerse de las aguas residuales, uno de los esquemas, más generalmente usado por su simplicidad, es el que las identifica por su procedencia:

- Drenaje.
- Escorrentía.
- Domésticas.
 - Fecales.
 - Limpieza.
- Industriales.
 - Comerciales.
 - Industriales.
- Agrarias.
 - Agrícolas.
 - Ganaderas.

(Hernández, 2000.).

2.1. Caracterización de aguas residuales

Los contaminantes en las aguas residuales son habitualmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Normalmente no es ni práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de las aguas residuales.

2.1.1. Aguas blancas

Las aguas blancas están constituidas fundamentalmente por aguas pluviales, que son las generadoras de las grandes aportaciones intermitentes de caudales. No obstante, con el progresivo avance y desarrollo del urbanismo subterráneo (estacionamientos, centros comerciales y de ocio, vías de comunicación deprimidas y subterráneas, galerías de servicios, etcétera) las aguas de drenaje han ido cobrando una importancia creciente, especialmente por estar muy a menudo afectadas por la contaminación producida por fugas en las redes de alcantarillado.

Se integran, por tanto, como componentes de la suciedad de las aguas blancas:

- *Elementos de la contaminación atmosférica:* depuración húmeda de las lluvias ácidas.
- *Restos de la actividad humana y asociada:* papeles, colillas, excrementos de animales (aves, gatos, perros, etcétera) restos de la recogida y evacuación de basuras, etcétera.
- *Residuos de tráfico:* aceites, grasas, hidrocarburos, componentes fenólicos y de plomo, etcétera.
- Arenas, residuos vegetales y biocidas (insecticidas, herbicidas, abonos, etcétera) de zonas ajardinadas.
- *Contaminación aportada por las aguas de drenaje:* aguas salobres, fugas de alcantarillado, etcétera.

Además de estos componentes, la primera oleada pluvial arrastra los depósitos acumulados en las conducciones por lo que a su vertido o llegada a la depuradora está frecuentemente, tanto o más cargada que las aguas negras. (Hernández, 2000.).

Las características medias de estas aguas blancas pueden quedar reflejadas en cuanto a su contaminación orgánica en la **Tabla 2.1.1.(1)**.

TABLA 2.1.1.(1). CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS BLANCAS.

Características	Contaminación (mg / l)
DBO ₅	25
DQO	65
SS	230
SSV	40
N en (NH ₃)	0.2
N en (NO ₂)	0.05
N en (NO ₃)	0.5
N (orgánico)	1.4
PO ₄ (total)	1.15
PO (soluble)	0.46

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 14.

2.1.2. Aguas negras

En las aguas negras o urbanas, los compuestos químicos que se hallan presentes son muchos. A título ilustrativo, se pueden citar: microorganismos, urea, albumina, proteínas, ácidos acéticos y láctico; bases jabonosas y almidones; aceites: animales, vegetales y minerales; hidrocarburos; gases: sulfhídrico, metano, etcétera; sales: bicarbonatos, sulfatos, fosfatos, nitritos, nitratos, etcétera.

Las características mínimas y suficientes para definir un vertido urbano, quedaría suficientemente conocidas con el conocimiento de los parámetros que se indican en la **Tabla 2.1.2.(1)**.

En dicha tabla aparecen los valores representativos de un agua residual urbana con una concentración fuerte, media o ligera. (Hernández, 2000.).

TABLA 2.1.2.(1). CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS (CONCENTRACIÓN EN MG / L).

Parámetro	Contaminación Fuerte	Contaminación Media	Contaminación Ligera
Sólidos totales	1000	500	200
Volátiles	700	350	120
Fijos	300	150	80
Sólidos en suspensión	500	300	100
Volátiles	400	250	70
Fijos	100	50	30
Sólidos sedimentables	250	180	40
Volátiles	100	72	16
Fijos	150	108	24
Sólidos disueltos	500	200	100
Volátiles	300	100	50
Fijos	200	100	50
Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días y a 20 °C (DBO ₅)	300	200	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	800	450	160
Oxígeno disuelto	0	0.1	.02
Nitrógeno total (N)	86	50	25
Orgánico	35	20	10
Amoníaco libre N – NH ₄	50	30	15
Nitritos N – NO ₂	0.10	0.05	0.00
Nitratos N – NO ₃	0.40	0.20	0.10
Fósforo total (P)	17	7	2
Cloruros	175	100	15
pH	3.9	6.9	6.9
Grasas	40	20	0
Carbono orgánico total (COT)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Alcalinidad (como CO ₃ Ca)	200	100	50

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 15.

2.1.3. Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no sólo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria. Éstas son más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar.

A veces, las industrias no emiten vertidos de forma continua, sino únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día.

Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso.

(<http://html.rincondelvago.com/tratamiento-de-aguas-residuales.html>;

Romero, 1999. (2)).

En la **Tabla 2.1.3.(1)** se muestran las cantidades de agua que consumen los distintos tipos de industrias.

TABLA 2.1.3.(1). CONSUMOS DE AGUA EN INDUSTRIAS.

INDUSTRIA	m ³ / día	
	Por empleado	Por m ² de planta
Productos de alimentación	7.9	13.5
Productos lácteos	9.5	29.2
Conservas de frutas	6.8	8.2
Azucareras	36.8	6.3
Tintura y acabados textiles, excepto lana	2.5	11.3
Textiles en general	0.5	3.2
Aserraderos	44.1	7.3
Cartones	17.1	88.5
Industria química orgánica e inorgánica	20.0	9.2
Materiales plásticos, excepto vidrios	5.7	2.4
Drogas	1.2	7.7
Jabón, detergentes, cosméticos	2.0	7.8
Pinturas, barnices, lacados, esmaltes	3.2	11.5
Agricultura química	6.1	3.5
Productos químicos diversos	3.8	2.2
Refinerías de petróleo	14.5	1.8
Productos derivados del petróleo y del carbón	1.5	1.3
Curtido y acabado de pieles	2.8	8.4
Productos de vidrio	1.5	2.1
Cemento hidráulico	7.3	2.6
Ladrillo, rasillas	1.1	-
Alfarería	1.1	3.4
Yesos	7.9	0.1
Canterías	0.9	2.9
Asbestos abrasivos	3.2	5.6
Altos hornos, acero y laminación	2.5	0.1
Hierros y fundición del acero	1.4	5.8
Fundiciones secundarias, refinados	1.9	1.3

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 37.

Con independencia de la existencia de índices similares a los encontrados en vertidos urbanos, aparecen otros como tóxicos inhibidores, que en ciertas proporciones impiden los procesos enzimáticos de los microorganismos, o incluso producen su muerte.

La gran variedad y cantidad de productos que se vierten obliga a una investigación propia para cada tipo de industria. No existe similitud alguna entre los vertidos de

actividades industriales, como son: alimentación, química, petroquímica, agrícola, forestal, minerales y metalúrgicas, etcétera.

De todas formas, si el contenido es muy alto en materia orgánica o sólidos en suspensión, pueden estimarse la elección de índices con el mismo criterio que el analizado para la definición de las aguas residuales de origen doméstico. Pero será necesario analizar las sustancias específicas vertidas, que pudieran dificultar el tratamiento biológico o afectar a los materiales constitutivos de la red de alcantarillado u obras de fábrica en contacto con las aguas. La industria considerada, antes de verter debería efectuar la corrección de los parámetros perturbadores.

Son numerosísimos los índices orgánicos e inorgánicos procedentes de la actividad industrial, decenas de miles, pero de forma resumida, deberán contemplarse índices que definan el contenido en:

- Ácidos que pueden atacar el material o inhibir los procesos.
- Básicos que pueden inhibir los procesos biológicos.
- Productos petrolíferos y grasas poco degradables.
- Detergentes que retardan la sedimentación, forman espumas e impiden la aireación.
- Metales pesados: Cu, Cr, As, Cd, Pb, Hg, B, etcétera, tóxicos para los microorganismos que intervienen en los procesos biológicos.
- Fenoles, cianuros, inhibidores y tóxicos.
- Productos radioactivos.

Es conveniente resaltar aquí la importancia de la toma de muestras. El análisis reflejará el resultado de la muestra enviada al laboratorio, debiendo ser ésta representativa del agua que se pretende definir. La toma de muestra deberá tener en cuenta la variación en el tiempo del caudal y carga contaminante en el valor absoluto. (Hernández, 2000.).

Clasificación de las industrias según sus vertidos

Las industrias se pueden clasificar en cinco grupos de acuerdo con los contaminantes específicos que arrastran las aguas residuales.

Industrias con efluentes principalmente orgánicos.

- Papeleras.
- Azucareras.
- Mataderos.
- Curtidos.
- Conservas (vegetales, carnes, pescado, etcétera).
- Lecherías y subproductos (leche en polvo, mantequilla, queso, etcétera).
- Fermentación (fabricación de alcoholes, levaduras, etcétera).
- Preparación de productos alimenticios (aceites y otros).
- Bebidas.
- Lavanderías.

Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos.

- Refinerías y Petroquímicas.
- Coquerías.
- Textiles.
- Fabricación de productos químicos, varios.

Industrias con efluentes principalmente inorgánicos.

- Limpieza y recubrimiento de metales.
- Explotaciones mineras y salinas.
- Fabricación de productos químicos, inorgánicos.

Industrias con efluentes con materias en suspensión.

- Lavaderos de mineral y carbón.
- Corte y pulido de mármol y otros minerales.
- Laminación en caliente y colada continua.

Industrias con efluentes de refrigeración.

- Centrales térmicas
- Centrales nucleares.

(http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Caracter%C3%ADsticas_de_las_aguas_residuales).

En los siguientes apartados se consideraran distintos tipos de industrias, indicando los contaminantes más importantes de sus vertidos, así como una breve consideración de cuál o cuáles son los tipos de tratamiento más típicos, útiles y económicos para tratar sus vertidos. Se contemplan las industrias más destacadas y, obviamente, no se describen todos los tipos de éstas debido a la limitación de contenido de este documento.

2.1.3.1. Industrias textiles

Los vertidos de las fábricas textiles dependen del tipo de proceso a los que se sometan los distintos materiales empleados en la empresa textil. Podemos dividir las materias primas en tres grandes grupos: lana, algodón y fibras químicas.

Industria de lana

La contaminación de los vertidos de la lana, provienen de los procesos siguientes:

- Desengrasado.
- Tintura.

- Engrasado o enzimado.
- Batanado.
- Carbonizado.
- Lavado.
- Apresto.

El desengrasado se realiza con soluciones que contienen detergentes y el carbonato sódico, como compuesto para alcalinizar la solución. Un elevado porcentaje de impurezas naturales de la lana se eliminan en este proceso; en consecuencia se debe esperar vertidos que contendrán fuertes concentraciones de carbonato sódico, detergentes, grasas en emulsión y sales minerales, por tanto, serán alcalinas (pH entre 10 y 11.5), elevada DBO, elevada concentración de sólidos en suspensión y totales. Según algunos estudios realizados, el 40 % en peso de la lana bruta corresponde a impurezas, que contaminarán el agua de lavado.

Un proceso importante en el lavado de la lana, es la recuperación de las grasas de tal forma que una centrifugación primaria (desfangadora), seguida de una centrifugación secundaria (deshidratadora), consigue una recuperación de grasas del 4 % sobre lana grabada.

Los vertidos procedentes de la tintura contendrán la solución colorante, generalmente contienen ácido acético – acetato sódico, y pueden contener según el sistema de tintura, dicromato sódico, sulfato amónico, sulfato sódico y monoclorobenceno.

La DBO de estos efluentes, así como los sólidos totales en suspensión es pequeña.

En el engrasado se utiliza generalmente aceite de oliva con mezcla de grasa animal o enzimas sintéticos. Se realiza para aumentar la cohesión de la fibra y facilitar la hilatura; en consecuencia. No debe producir vertidos importantes por si mismo. La misión del batanado, consiste en encoger y apelmazar la estructura del tejido de lana que

sale del telar, formando un tejido más cerrado y grueso. Aunque las recetas de batanado son diversas, generalmente se utiliza jabón o detergente en presencia de hidrógeno sódico y un agente antiespumante. Los vertidos proceden de la eliminación del exceso de solución de batanado. Esta eliminación se puede realizar mediante presión y lavado posterior y, en consecuencia, tendremos unos efluentes con una elevada alcalinidad y detergentes.

El carbonizado es un tratamiento que generalmente se realiza con ácido sulfúrico concentrado y caliente, para convertir la materia vegetal que pueda convertir la lana en cenizas, por deshidratación y separarla del tejido. El vertido de los líquidos de carbonizado es muy ácido, con elevada concentración de sulfatos y con sólidos en suspensión. Generalmente lo que se hace es una neutralización de estas disoluciones antes de realizar el vertido.

Antes de que el tejido entre a la sección de acabados, puede someterse a un lavado, cuyos vertidos generalmente no están excesivamente contaminados.

Industrias del algodón

El algodón se descruza en calderas para eliminar las impurezas naturales, se blanquea, se tiñe y finalmente se enzima. Los vertidos del desencolado contendrán una DBO elevada, son generalmente neutros y su contenido en sólidos es elevado. El descruado se realiza con varios procedimientos y se emplean como reactivos más importantes el hidróxido sólido, el carbonato sódico y detergentes. En consecuencia, los vertidos tendrán una alta alcalinidad, elevada DBO, un contenido en sólidos elevado y alta temperatura. El blanqueo se realiza principalmente con hipoclorito sódico, clorito sódico o agua oxigenada. Los vertidos serán alcalinos, elevada DBO y gran contenido en sólidos.

Según algunos estudios realizados, en una industria de acabado de algodón el 16 % del volumen total de vertidos producidos corresponden al desencolado con una aportación del 53 % de la DBO total. Un 36 % de los sólidos totales y un 6 % de la alcalinidad total.

El descrudado produce un 19 % del volumen total, con un aporte del 37 % de la DBO total, un 43 % de sólidos totales y un 60 % de la alcalinidad total. Los demás procesos producen el 65 % del volumen total, con un aporte del 10 % a la DBO, un 21 % de sólidos totales y un 34 % de la alcalinidad total.

Fibras químicas

Los procesos a realizar en las fibras químicas son menos que en el caso de la lana y el algodón, puesto que no existen impurezas naturales. La contaminación por vertidos se realiza en el lavado y en el tintado de las fibras. Podemos considerar que estos procesos aportan prácticamente la misma contaminación a los vertidos, que el lavado y tintado de la lana.

Antes de proyectar cualquier planta de tratamiento de aguas residuales, en empresas del tipo aquí mencionado, es necesario tomar en cuenta la disminución de la contaminación de los vertidos, si se realiza un control más estricto de los procesos, si se sustituyen algunos compuestos químicos utilizados y si se recuperan algunos de éstos. La recuperación del hidróxido sódico es fundamental para poder tratar las aguas residuales por sistemas biológicos, así como la utilización de detergentes de baja DBO.

Los principales métodos para el tratamiento de aguas residuales de empresas textiles, son la coagulación – sedimentación y el tratamiento biológico. Como coagulantes se utilizan, generalmente, sulfato de aluminio, sulfato ferroso, sulfato férrico o cloruro férrico. Junto con estos coagulantes se puede utilizar un coadyuvante de coagulación para mejorar ésta. Cada coagulante, cuando se utiliza con un residuo específico, tiene su

punto isoeléctrico óptimo (pH de máxima coagulación), que se ha de determinar experimentalmente en función del agua residual que se tenga.

En la reutilización de las aguas de tintura, así como la recuperación de productos químicos utilizados, se pueden emplear procesos de ósmosis inversa, microfiltración e intercambiador de iones.

Según las características de las aguas, los procesos mencionados pueden ser posteriores a tratamientos físico – químicos o biológicos.

(Sans, 1999.).

2.1.3.2. Industrias de curtidos

Las operaciones que se realizan en una industria de curtido, y que dan lugar a los vertidos, se pueden dividir en tres grandes bloques: operaciones de adobado, operaciones de curtido y operaciones húmedas.

El adobado se realiza los siguientes procesos:

- Curado.
- Descarnado.
- Lavado y remojo.
- Eliminación del pelo.
- Tratamiento con cal (optativo).

Las operaciones de curado y desencarnado no presentan por si mismas ningún tipo de vertido (excepto en la limpieza de las máquinas).

El lavado y remojo tiene como finalidad eliminar la suciedad, las sales de curado. La sangre, los desperdicios, las proteínas no fibrosas y devolver la humedad perdida durante del curado.

La eliminación del pelo se realiza con hidróxido cálcico, con o sin sulfuro sódico.

El tratamiento con cal separa la piel en dos capas, una, la capa superior, de grano más valioso, y la otra, la capa inferior, llamada serraje, que corresponde al lado de la carne.

En el curtido, se realizan las siguientes operaciones.

- Macerado.
- Piclaje.
- Desengrase (sólo para pieles de ovino y cerdo).
- Curtido.

El macerado se realiza generalmente con una mezcla de enzimas preparadas comercialmente y con sales de amonio. Su misión es, primordialmente, preparar la piel del curtido.

El piclaje se realiza con cloruro sódico y ácido, para evitar la precipitación de las sales de cromo en la piel cuando se realice el curtido con cromo.

El desengrase tiene como misión la eliminación de la grasa natural, impidiendo de esta forma la formación de jabones metálicos.

El curtido al cromo se utiliza para pieles ligeras, produciendo pieles resistentes. El curtido con vegetales (tanino), produce pieles más llenas, más hinchadas y que son más fáciles de someter a tratamiento o embutición. Generalmente, después del curtido, se realiza una decoloración con carbonato sódico y ácido sulfúrico, para proporcionar a la piel un color más claro y más uniforme antes de la tintura.

El problema que puede presentar la depuración de vertidos de la empresa de curtidos proviene de que existen descargas intermitentes, con concentraciones de contaminación diferentes de unos procesos a otros. Se hace necesaria, pues, la homogeneización de caudales para minimizar estas fluctuaciones. Un vertido igualado, incluyendo las aguas de lavado, tiene un gran contenido de sólidos, entre 6,000 y 7,000 ppm, de los cuales alrededor de la mitad son de cloruro sódico. Contiene 900 ppm de DBO, 1,600 ppm de dureza total, 1,000 ppm de proteínas, 120 ppm de sulfato y entre 3 y 70 ppm de cromo. Es necesaria también, además de la igualación una sedimentación por el gran volumen de fangos presentes en los vertidos. Una mejor depuración de estos vertidos, necesita la coagulación química y digestión de fangos.

Es recomendable la igualación y sedimentación, por lo menos durante 8 hrs, seguida de filtros bacterianos y decantación.

Según diversos estudios, otro sistema que permite la obtención de efluentes claros, sin olores y estables, y que se pueden verter directamente en los cursos de agua, es el tratamiento con fangos activados. (Sans, 1999.).

2.1.3.3. Industrias químicas

En este apartado de industrias químicas se consideran como tales las que fabrican una materia prima que ha de ser utilizada con posterioridad en otro tipo de empresa y, dentro de éstas, las industrias que debido al producto fabricado, pueden producir vertidos, que al ser evacuados en ríos, lagos o alcantarillado, implican cambios importantes en las aguas, problemas especiales en las depuradoras urbanas o en efluentes de aguas residuales.

Nos encontramos con los siguientes tipos de aguas residuales:

- Fuertemente ácidas.

- Fuertemente básicas.
- Fuertemente coloreadas.
- Presencia de sustancias tóxicas.
- Inflamabilidad.

Aguas residuales fuertemente ácidas o fuertemente básicas, las podemos encontrar en muchos procesos industriales y especialmente en fábricas de productos químicos, como ácidos, bases, tintes, explosivos, insecticidas, fungicidas, productos farmacéuticos resinas de silicona, materiales de construcción, etcétera.

Los más importantes son los vertidos que contiene ácido clorhídrico, sulfúrico y nítrico diluidos. Todas estas aguas residuales necesitan una neutralización antes de su vertido al sistema de alcantarillados o a los cursos de aguas, puesto que estos se alteran de forma perjudicial por valores extremos de pH.

Tratamiento general

Cada industria, en función del caudal de aguas residuales y de su pH, así como por la existencia de un posterior tratamiento o no, deberá realizar el estudio sobre el método más económico a utilizar, teniendo en cuenta el pH que la legislación permite para los vertidos en los alcantarillados o lechos de agua. Se pueden poner algunos ejemplos para mejorar costos de depuración: Una empresa produce unas aguas residuales ácidas y posteriormente realiza un tratamiento biológico. El pH óptimo para tratamientos biológicos, se encuentra alrededor de la neutralidad, no obstante, el rendimiento más interesante es a pH más bajos, la neutralización se puede realizar con una lechada de cal, con el suficiente tiempo para alcanzar el pH previsto para el tratamiento biológico; el ahorro que se obtiene, en lugar de utilizar productos químicos para la neutralización, puede ser superior al menor rendimiento de la depuración biológica.

Si una empresa produce aguas residuales ácidas en un proceso y básicas en otro, indudablemente, deberá realizar una igualación de éstas, pudiendo obviar (dependiendo de la acidez o basicidad final) la neutralización.

También puede resultar económicamente rentable igualar las aguas residuales ácidas de una empresa con las aguas residuales básicas de otra empresa que esté relativamente cerca.

Empresas con aguas residuales alcalinas, pero con poco volumen de éstas, pueden retener los vertidos durante un cierto tiempo para que el contacto con el anhídrido carbónico del aire sea suficiente para bajar el pH hasta los límites permitidos por la legislación.

(Sans, 1999.).

2.1.3.4. Industrias productoras de explosivos

Este tipo de empresas producen aguas residuales fuerte ácidas y básicas, así como fuertemente coloreadas. Dependiendo de que tipo de explosivos fabriquen, también están fuertemente contaminadas con sulfatos, nitrógeno y metales.

Podemos considerar tres tipos de producción.

1. Fabricación de pólvora sin humo.
2. Fabricación de T.N.T.
3. Fabricación de munición de armas pequeñas.

Fabricación de pólvora sin humo

En la fabricación de pólvora sin humo las aguas residuales son, principalmente, las que proceden de la nitración y purificación del producto, son fuertemente ácidas, coloreadas

y contienen una elevada concentración de sulfato y nitrógeno (éste en forma de nitrito y nitratos).

La neutralización seguida de una coagulación y sedimentación son métodos efectivos para depurar estas aguas residuales. El proceso de desnitrificación biológica por fases dependientes es el más adecuado para la eliminación del nitrógeno.

Fabricación T.N.T.

En la fabricación de T.N.T. las aguas residuales son, principalmente, las que proceden del lavado después de la nitración, y del lavado de purificación del sulfito. Las primeras son fuertemente ácidas, de color amarillo, con elevada concentración de sulfatos y nitrógenos (éste en forma de amoníaco, nitritos y nitratos). Las segundas son alcalinas, intensamente coloreadas y también con alto contenido en sulfatos y nitrógeno, las aguas residuales de la fabricación de T.N.T. también contienen cantidades variables de dicho producto.

La depuración de éstas aguas implica una igualación – neutralización, seguida de una filtración con carbón o bien una mezcla de estas aguas con carbón activo y posterior filtración para eliminar el T.N.T., así como parte del color. La eliminación del color con carbón activo es costosa económicamente y, por otra parte, es muy resistente al ataque biológico y químico siendo aconsejable para la eliminación del color y el nitrógeno el tratamiento con cloro al breakpoint. La desnitrificación se puede realizar biológicamente en fases independientes. Tratamientos de ósmosis inversa y microfiltración, nos permitirán la reutilización de las aguas residuales, así como la recuperación del producto (T.N.T., etcétera).

Fabricación de municiones

En la fabricación de municiones para armas pequeñas, las aguas residuales más importantes provienen de la fabricación de cartuchos y manguitos, de los procesos de extrusión, decapado, lavado y lubricado. Son aguas turbias, con coloración, ácidas y contienen cantidades importantes de cobre y zinc, así como detergentes y aceites.

La depuración de estas aguas implicará una eliminación de las grasas por flotación y una precipitación química posterior. Se ha comprobado que una depuración como la mencionada produce una eliminación del 85 % de la DBO, un 95 % de los sólidos en suspensión, eleva el pH hasta la neutralidad y reduce el color en un 90 %.

Fabricación de pesticidas

Los compuestos orgánicos, tales como los pesticidas y otros productos químicos utilizados en agricultura, son tóxicos para gran número de formas de vida, en consecuencia, pueden llegar a ser peligrosos contaminantes de las aguas superficiales. La mayoría de los insecticidas pueden ser mortales a pequeñas concentraciones; en consecuencia, podemos encontrar, como resultado de un vertido de estas características, la muerte de peces, contaminación del pescado y el empeoramiento de las aguas de suministro.

En general, la mejor forma de depuración de los pesticidas es hacer pasar el efluente por unos lechos filtrantes de carbón activo, aunque es un procedimiento caro. Otra forma de depuración consiste en una cloración previa de los vertidos, retención en lagunas, neutralización y tratamiento con fangos activados.

Industrias del fósforo

Las industrias del fósforo pueden dividirse en relación a sus aguas residuales, en dos tipos: las que a partir de la extracción de fosfato mineral, mediante procesos de lavado, cribado, flotación y secado, producen fosfatos, y el ácido fosfórico obtenido mediante el procedimiento húmedo. El fosfato puede venderse directamente como abono o para producir fósforo elemental o ácido fosfórico térmico.

El otro tipo de industria es aquel que, a partir de los fosfatos anteriormente mencionados, se dedica a la producción de fósforo elemental o ácido fosfórico térmico.

En el primer tipo de industrias cabe distinguir entre los vertidos de extracción y refinado de los fosfatos, que producen aguas residuales en gran cantidad, conteniendo arcillas, fangos coloidales y aceites, y los vertidos de la obtención de ácido fosfórico por vía húmeda, que son fuertemente ácidos, gran contenido de flúor, pentóxido de fósforo, sólidos en suspensión y algún tipo de sustancias reductoras. En la fabricación de fósforo elemental o ácido fosfórico, por vía térmica, los vertidos más importantes proceden de la salida de agua del condensador y son aguas residuales ácidas, contienen fósforo elemental, sólidos en suspensión, sílice y pentóxido de fósforo.

El fósforo, así como el nitrógeno, es un nutriente importante para las algas y otros organismos biológicos. Por esta causa y debido a los nocivos crecimientos incontrolados de algas en las aguas superficiales, se debe controlar el contenido de fósforo que se vierte a los lechos, a través de aguas residuales industriales o domésticas. El fósforo se encuentra en disolución acuosa como ortofosfatos, polifosfato o fósforo orgánico. El fósforo elemental, procede de los vertidos de su obtención, puede inflamarse si se deja secar el vertido en zanjas.

La depuración de estas aguas residuales tendrá como principal objetivo la eliminación del fósforo, por lo que será necesaria una neutralización y posterior precipitación química.

(Sans, 1999.).

2.1.3.5. Mataderos

De forma general, consideramos aguas residuales de mataderos aquellas que provienen de los mataderos propiamente dichos y de factorías de procesos cárnicos o derivados.

Los vertidos de los mataderos se producen en el suelo, donde se realiza el sacrificio de los animales, el lavado y el descuartizamiento. Los desperdicios que se producen tienen un color pardo – rojizo, una alta DBO y contienen cantidades importantes de sólidos en suspensión. Una condición importante a cumplir en un matadero es que se recoja la sangre en todos los sacrificios de ganado ovino, vacuno y porcino la sangre es recogida y también en la mayoría de los mataderos de aves. El sacrificio, así como el proceso de elaboración de carnes de aves, difiere sustancialmente del otro tipo de animales.

En un matadero de porcino, bovino y lanar, los vertidos se realizan de forma discontinua, siendo el más importante la limpieza del suelo de la zona de sacrificio.

Debe tenerse en cuenta que aun cuando haya recogida de sangre, parte de ésta es antieconómica de recoger y, como su contenido en nitrógeno es importante, se descompone con mucha facilidad.

Es necesario un tanque homogeneizador, después del tamizado, y previo a cualquier tratamiento. La decantación en el proceso de homogeneizado, produce un rendimiento entre el 50 y 60 % en la eliminación de DQO, DBO, nitrógeno y hierro, así como un rendimiento del 30 a 40 % de la turbidez, siendo muy poca la eliminación del fósforo.

Debe tenerse en cuenta la decantación inicial, antes de cualquier tratamiento. De forma general, después de la decantación previa, se utiliza un tratamiento biológico, que puede ser de fangos activados o procesos anaerobios de contacto, con resultados positivos.

Industrias de preparación y conservas de carnes

En las industrias de preparación y conservas de carnes, si se realiza el sacrificio de animales, en las zonas donde se realice, las aguas residuales serán aproximadamente de la misma composición que la de los mataderos. En el caso que reciban a los animales muertos, las operaciones son:

- Preparación de partes comestibles.
- Preparación de partes no comestibles.
- Deshuesado y cortado.
- Embutidos.

Las aguas residuales de estas operaciones son, básicamente, las procedentes del lavado de las zonas de trabajo, tendrán alto contenido de sólidos en suspensión, nitrógeno y fósforo orgánico, procedentes de los restos de sangre de los animales. El tratamiento a realizar es básicamente, el mismo que en el caso de los mataderos.

Si en el proceso se realiza la limpieza de la panza y los intestinos de los animales, esta operación aumenta enormemente la cantidad de sólidos en suspensión, así como la DBO y DQO de las aguas residuales.

Un proceso que produce una contaminación importante, con grandes concentraciones de materia orgánica, especialmente compuestos nitrogenados es el de fusión de grasas comestibles así como el de grasas y desperdicios no comestibles. Aunque la mayoría de las empresas utilizan el fundido en seco, mucho menos contaminante que el fundido en húmedo, los contaminantes de dicho proceso son importantes. (Sans, 1999.).

2.1.3.6. Industrias lácteas

Las industrias lácteas se pueden dividir en los tipos de factorías:

- Obtención de leche fresca, pasteurizada y descremada.
- Fabricación de quesos.
- Fabricación de mantequillas.
- Fabricación de leche condensada.
- Fabricación de leche en polvo.

Las aguas residuales de este tipo de industrias proceden, en su mayoría del lavado de los tanques de recepción de leche, lavado de conducciones, sistemas de evaporación y lavados en los procesos de la mantequilla, queso y otros productos.

Las aguas residuales de la fabricación de queso son las que más difieren de los otros procesos; son aguas ácidas, a causa de la presencia de suero y son las que contienen más sólidos en suspensión (cuajo), debido al lavado del queso. Las otras industrias presentan unos vertidos neutros y ligeramente alcalinos, con tendencias a convertirse en ácido a causa de la fermentación del azúcar, en su transformación en ácido lácteo.

Todas las aguas residuales tienen un alto contenido en materia orgánica disuelta, en consecuencia, tienden a fermentar si se retienen.

Como los vertidos tienen una amplia variación de caudal y concentración de compuestos contaminantes, es aconsejable una igualación y homogenización de caudales de estas aguas, antes de cualquier tratamiento, por otra parte, una aireación en la igualación puede producir una reducción importante de la contaminación, así como la eliminación de olores procedentes de la transformación de la lactosa en ácidos lácteos.

Estas aguas responden bien a los tratamientos biológicos, tales como procesos aerobios de fangos activados, filtros bacterianos, digestión anaerobia y lagunaje. Puede tratarse también por aplicación al terreno. (Sans, 1999.).

2.1.3.7. Fabricación de azúcar

En la fabricación de azúcar de remolacha, mediante el procedimiento Steffen, nos encontramos con cinco fuentes de vertidos:

- Agua del canal de transporte.
- Agua residual del proceso.
- El lodo, procedente del proceso de carbonización.
- El agua de los condensadores.
- El residuo Steffen, resultante de la extracción de azúcar de las melazas.

Las aguas de los canales y lavado contienen sólidos en suspensión y sólidos disueltos, procedentes de la tierra, hojas y raíces de la remolacha. El contenido en DBO es relativamente bajo.

Las aguas de la prensa de pulpa, así como los lodos de cal, contienen materia orgánica, sólidos disueltos y en suspensión. Los lodos son altamente alcalinos.

El agua de los condensadores puede contener materia orgánica arrastrada con los vapores.

El residuo de Steffen es el más contaminado, teniendo una alta DBO, así como una gran cantidad de sólidos disueltos. El contenido de sólidos en suspensión es bajo.

El mayor vertido de aguas residuales, proviene del agua de transporte, siendo aproximadamente un 72 % de las aguas residuales de la fabricación de azúcar de remolacha.

Debido a que esta industria es de tipo discontinuo, con un trabajo intensivo de 24 horas diarias, durante un periodo comprendido entre 60 y 100 días al año, cualquier proceso de instalación de tratamiento de aguas residuales puede ser excesivamente antieconómico. Lo más aconsejable es el estudio de procesos para conseguir la reutilización de las aguas y la disminución del consumo de agua.

Los procesos más económicos son la utilización de lagunas, así como el tratamiento por aplicación al terreno.

Un método patentado para la reutilización de las aguas y aprovechamiento de los productos consiste en el siguiente proceso:

Los desechos altamente alcalinos, separados de los sólidos, se lavan con anhídrido carbónico, separándose al carbonato cálcico precipitado y se reduce luego el pH con ácido mineral. La DBO del líquido, tras su clarificación, se reduce por fermentación por levaduras, utilizándose el anhídrido carbónico desprendido, para la precipitación del carbonato cálcico y empleándose el exceso de levadura para la alimentación de ganado. (Sans, 1999.).

2.1.3.8. Industrias papeleras

La industria del papel se divide en dos grandes secciones; la producción de pasta de papel y la producción de papel a partir de dicha pasta. En este tipo de industria todo el proceso se realiza de una forma mayoritaria en la misma fábrica.

Fabricación de pasta de papel

Las aguas residuales de la fabricación de pasta de papel proceden principalmente de los siguientes procesos:

- Preparación de la madera.

- Reducción a pulpa, bien mediante métodos mecánicos o químicos.
- Cribado.
- Lavado de la pasta.
- Espesado.
- Blanqueo.

La preparación de la madera implica el astillado y la eliminación del polvo por métodos mecánicos, en consecuencia, las únicas aguas residuales que produce son las de purga del transporte de los troncos, con pocos sólidos en suspensión (un promedio de aproximadamente 320 ppm), pocos sólidos en disolución y poca DBO. Representa el 8.5 % de las aguas residuales totales.

La reducción a pulpa, por métodos mecánicos, no produce vertidos importantes.

La producción de pasta química se realiza por tres métodos importantes: proceso de la sosa, proceso del sulfato y proceso del sulfito. El proceso de la sosa produce aguas residuales de composición parecida al proceso del sulfato, con la única diferencia de que en el primero se utiliza hidróxido sódico sólo o con un bajo contenido el sulfuro sódico, mientras que en el proceso el sulfato se utiliza hidróxido sódico, sulfuro sódico, sulfato sódico y carbonato sódico.

Las aguas residuales de la reducción de la pulpa por el método del sulfato representan el 14.9 % del total y contienen aproximadamente 350 ppm de sólidos en suspensión, 3,000 ppm de sólidos disueltos y 500 ppm de DBO. Si se emplea el método del sulfito, representan el 33.5 % del total, con una concentración aproximada de 320 ppm de sólidos en suspensión, 4,200 ppm de sólidos en disolución y 2,584 ppm de DBO.

Las aguas residuales del cribado de la pulpa por el método de sulfato representan el 9.1 % del total y contienen aproximadamente 350 ppm de sólidos en suspensión, 1,900 ppm

de sólidos disueltos y 450 ppm de DBO. Si se emplea el método de sulfito, representan el 14.1 % del total, con una concentración aproximada de 150 ppm de sólidos en suspensión, 380 ppm de sólidos en disolución y 150 ppm de DBO.

Las aguas residuales de lavado y espesado por el método del sulfato representan el 19 % del total y contiene aproximadamente 170 ppm de sólidos en suspensión, 700 ppm de sólidos disueltos y 500 ppm de DBO. Si se emplea el método del sulfito, representan el 16.4 % del total, con una concentración aproximada de 250 ppm de sólidos en suspensión, 220 ppm de sólidos en disolución y 400 ppm de DBO.

Las aguas residuales del blanqueo por el método del sulfato representan el 48.3 % del total y contienen aproximadamente 400 ppm de sólidos en suspensión, 1,100 ppm de sólidos disueltos y 200 ppm de DBO. Si se emplea el método del sulfito, representa el 35.4 % del total, con una concentración aproximada de 250 ppm de sólidos en suspensión, 1,600 ppm de sólidos en disolución y 200 ppm de DBO.

Debido al gran volumen de vertidos que se producen en la fabricación de pasta y gran cantidad de fibras que estos vertidos tienen, se presenta una especial atención a la recuperación de los vertidos; para esta recuperación se utiliza la filtración, la sedimentación y la flotación. En algunos casos se emplean también procesos de precipitación química. Una vez realizada la recuperación se pueden realizar procesos de recuperación de las aguas residuales, con fangos activados, vertidos en lagunas y procesos de aplicación al terreno.

Fabricación del papel

En la fabricación del papel el principal vertido proviene de la fábrica papelera, y lo que se denomina *agua blanca*; este vertido contiene alrededor del 3 % de fibras pequeñas, por lo que es imprescindible su recuperación, en consecuencia, en muchos procesos,

estas aguas se recirculan, utilizándose posteriormente en el tamizado, lavado y blanqueo de la fabricación de pasta. Generalmente, antes de la reutilización de las aguas blancas, se realiza un proceso de flotación para la eliminación de las fibras en suspensión y otras partículas sólidas.

(Sans, 1999.).

2.1.3.9. Industrias de acabado de superficies

Los vertidos de las industrias de acabado de superficies tienen dos procedencias distintas: los vertidos de las aguas de lavado de cada proceso y los provenientes de la eliminación y cambio de los baños agotados.

El lavado de los distintos procesos es, sin duda, el que produce la mayoría de las aguas residuales de este tipo de empresas y, podríamos decir, que lo produce de una forma continuada, aunque las concentraciones de los distintos compuestos no sean excesivamente altas.

Los vertidos de los baños agotados se producen de forma discontinua y comparándolos con la calidad total de aguas residuales producidas son muy poco significativos; no obstante, al producirse de forma discontinua y debido a la elevada concentración de productos que contienen, deben ser tenidos en cuenta.

Uno de los problemas principales de las empresas de acabados de superficie es que se producen vertidos de compuestos altamente tóxicos, y son empresas de tamaño relativamente pequeñas y en la mayoría de los casos el coste económico de la depuración de sus vertidos es alto.

El proceso a seguir de una empresa de acabados de superficie depende del acabado final que se realice y del tipo de producto que se acabe.

De una forma general este tipo de empresas tienen los siguientes procesos con producción de vertidos.

- Decapados ácidos groseros.
- Predesengrase o desengrase.
- Desengrase catódico y anódico (optativo).
- Decapado y activado.
- Baño cianurado de cobre.
- Activado ácido (optativo).
- Baño ácido de níquel.

Podríamos decir que los anteriores procesos enumerados constituyen una cadena automática en este tipo de industrias. Después del baño ácido de níquel se pasa, en general, a baños manuales de acabados finales tales como: cromado, plateado, dorado, latonado, estañado y baño ácido de cobre.

Prácticamente, entre cada proceso existe un lavado que, tal como hemos dicho, produce los mayores volúmenes de vertido. La concentración máxima de productos en este lavado depende de la calidad de enjuague necesaria según sea el siguiente proceso a realizar.

Las aguas de lavado, proceden del decapado grosero, tienen un pH bajo y concentraciones de sulfatos, fluoruros, cloruros, nitratos o fosfatos (dependiendo del ácido utilizado) de alrededor de 20 ppm. Los procedentes del desengrasado inicial pueden contener tricloroetileno, percloroetileno, ser fuentes básicas o débiles básicas con agentes tensioactivos (depende del tipo de desengrase utilizado). (Sans, 1999.).

2.2. Transporte de aguas residuales

En las ciudades más desarrolladas tecnológicamente las aguas residuales son transportadas desde su punto de origen hasta las instalaciones depuradoras a través de tuberías, generalmente clasificadas según el tipo de agua residual que circule por ellas.

Los sistemas que transportan tanto agua de lluvia como aguas residuales domésticas se llaman combinados. Generalmente funcionan en las zonas viejas de las áreas urbanas. Al ir creciendo las ciudades e imponerse el tratamiento de las aguas residuales, las de origen doméstico fueron separadas de las de los desagües de lluvia por medio de una red separada de tuberías. Esto resulta más eficaz porque excluye el gran volumen de líquido que representa el agua de escorrentía. Permite mayor flexibilidad en el trabajo de la planta depuradora y evita la contaminación originada por escape o desbordamiento que se produce cuando el conducto no es lo bastante grande para transportar el flujo combinado. Para reducir costes, algunas ciudades, por ejemplo Chicago, han hallado otra solución al problema del desbordamiento: en lugar de construir una red separada, se han construido, sobre todo bajo tierra, grandes depósitos para almacenar el exceso de flujo, después se bombea el agua al sistema cuando deja de estar saturado.

Las instalaciones domésticas suelen conectarse mediante tuberías de arcilla, hierro fundido o PVC de entre 8 y 10 cm de diámetro. El tendido de alcantarillado, con tuberías maestras de mayor diámetro, puede estar situado a lo largo de la calle a unos 1.8 m o más de profundidad. Los tubos más pequeños suelen ser de arcilla, hormigón o cemento, y los mayores, de cemento reforzado con o sin revestimiento. A diferencia de lo que ocurre en el tendido de suministro de agua, las aguas residuales circulan por el alcantarillado más por efecto de la gravedad que por el de la presión. Es necesario que la tubería esté inclinada para permitir un flujo de una velocidad de al menos 0.46 m por segundo, ya que a velocidades más bajas la materia sólida tiende a depositarse. Los desagües principales para el agua de lluvia son similares a los del alcantarillado, salvo

que su diámetro es mucho mayor. En algunos casos, como en el de los sifones y las tuberías de las estaciones de bombeo, el agua circula a presión.

Las canalizaciones urbanas acostumbran a desaguar en interceptadores, que pueden unirse para formar una línea de enlace que termina en la planta depuradora de aguas residuales. Los interceptadores y los tendidos de enlace, construidos por lo general de ladrillo o cemento reforzado, miden en ocasiones hasta 6 m de anchura.

Las aguas residuales son transportadas desde su punto de origen hasta las instalaciones depuradoras a través de tuberías, generalmente clasificadas según el tipo de agua residual que circule por ellas. (Microsoft Encarta 2006.).

2.2.1. Bombeo de agua residual

La necesidad de bombeo del agua viene dado por los condicionantes topográficos y por transportar las aguas residuales de un punto a otro, entre los que no existe la necesaria diferencia de costas para que pueda realizarse el vertido por gravedad.

Esta necesidad de bombeo puede presentarse en los siguientes casos:

- a) Incorporación de aguas residuales de un punto bajo al colector.
- b) Entre tramos de las alcantarillas, colectores o emisario.
- c) En la entrada a la estación depuradora.
- d) En desagüe de la estación depuradora hacia el cauce receptor. En continuo, si el nivel del cauce receptor está siempre a costa superior; o intermitente, en algunas épocas del año en que dicho nivel se eleva.

No debe olvidarse nunca, en las alternativas de solución, que una instalación de bombeo presenta inconvenientes como:

- Coste de primera instalación.
- Gasto de energía.
- Riesgo de inundación, cuando no se dispone de cuota suficiente para prever un aliviadero de seguridad.

La estación elevadora en su sentido más general está formada por los siguientes elementos, que deberán definirse y justificarse en el estudio:

- a) Cámara de toma reguladora de la aspiración.
- b) Conductos de aspiración.
- c) Edificio destinado a proteger las bombas.
- d) Bombas.
- e) Impulsión.

Normas generales en impulsiones de agua.

En síntesis las normas a tener en cuenta pueden referirse a:

- Evitar pérdidas de carga.
- Perfil regular.
- Evitar contrapendientes.
- Proteger tomas con rejillas.
- Colocación adecuada de la aspiración.
- Evitar inundaciones de los motores, si no son sumergibles.
- En puntos altos prever la expulsión de aire.

(Hernández, 2000.).

Características de las bombas

En relación con las características de las bombas deberán tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Tipo de bombas y velocidades características.

Las bombas serán del tipo comercial existente que mejor se acomode a las circunstancias particulares de la obra.

La elección y justificación del tipo de bombas se hará a partir de las curvas características de las mismas, escogiendo, en las condiciones normales de marcha y con el mejor rendimiento posible, aquellas que proporcionan el caudal y la altura manométricos exigibles.

b) Caudal a elevar y tiempo de funcionamiento de las bombas.

El caudal a elevar se calcula en función del volumen diario de agua a elevar y del tiempo de funcionamiento del grupo.

Para las instalaciones en funcionamiento teórico continuado se tomará por seguridad un tiempo de funcionamiento igual a 20 horas. Con frecuencia se estimará el tiempo de funcionamiento entre 8 y 12 horas.

Será obligatorio disponer dispositivos de cebado en las bombas centrífugas antes de su puesta en servicio.

(Hernández, 2000.).

Depósito de bombeo

Deberán contemplarse las siguientes características:

- Volumen tal que cumpla con las condiciones siguientes, salvo estudio más preciso:
 - Tiempo máximo de retención de agua 60 min.
 - Tiempo mínimo de funcionamiento de bombas 10 min.
- Estará dotado de aliviadero de seguridad.
- Estará cubierto con objeto de impedir olores y otros impactos.
- Tendrá un fácil acceso tanto para equipos como para permitir su fácil limpieza.

Las instalaciones de bombeo pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Bombas instaladas en seco.
- Bombas sumergidas en el propio depósito o arqueta de bombeo.

(Hernández, 2000.).

Diseño de las bombas

En el diseño de las bombas intervienen múltiples factores como son:

- Número de unidades (bombas).
- Características del líquido.
- Caudales (de servicio, máximos, mínimos).
- Alturas de elevación (condiciones en aspiración e impulsión).
- Tipo de funcionamiento (continuo, intermitente).
- Tipo de bomba (horizontal, vertical).
- Situación de la instalación (exterior, interior, altura, etcétera).
- Características de la unidad motriz (motor, reductor, etcétera).

(Hernández, 2000.).

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 3. TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En ingeniería ambiental el término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación así como la eliminación de las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras.

Las aguas residuales (o servidas) pueden provenir de actividades industriales o agrícolas, instituciones, locales comerciales y del uso doméstico. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras sólo provienen del uso doméstico y las segundas corresponden a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

Las aguas residuales, por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin previo tratamiento en lagos o corrientes convencionales. Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO₂, es por esto que el tratamiento de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales.

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso complejo, exige un importante esfuerzo para la evaluación de las necesidades de depuración, tales como la caracterización de las aguas residuales. Esto último se logra a partir de diversas mediciones físicas, químicas y biológicas, entre las cuales se incluyen la determinación

del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y el pH.

La depuración cobró importancia progresivamente desde principios de la década de 1970 como resultado de la preocupación general expresada en todo el mundo sobre el problema, cada vez mayor, de la contaminación humana del medio ambiente, desde el aire a los ríos, lagos, océanos y aguas subterráneas, por los desperdicios domésticos, industriales, municipales y agrícolas.

Puede decirse que solamente a partir de la década de los 60's, términos tales como contaminación del aire y del agua, protección del medio ambiente, ecología, etcétera; pasaron a ser palabras de uso común. Antes de estas fechas estos términos pasaron desapercibidos para el ciudadano medio y en general únicamente representaban ideas confusas.

La contaminación es un problema serio y es por supuesto deseable que el ciudadano sea consciente de ello, además de que el hombre está equipado para corregir el deterioro del medio ambiente antes de que sea demasiado tarde. De hecho, la corrección de la contaminación no es un problema técnico de gran dificultad comparado con otros, mucho más complejos, resueltos con éxito en décadas recientes, tal como la exploración de la superficie de la Luna por el hombre. Esencialmente, el conocimiento técnico básico requerido para resolver el problema de la contaminación está ya a disposición del hombre y, en la medida en que quiera pagar un precio razonable por conseguirlo, la pesadilla de la destrucción a través de la contaminación nunca se hará realidad. De hecho precios muy superiores han sido pagados por la humanidad para desarrollar y mantener toda la maquinaria de guerra y armamento.

Puede considerarse que solamente en los últimos años el diseño de las plantas depuradoras de aguas ha evolucionado de ser meramente empírico a tener una sólida base científica. Además, la investigación fundamental en nuevos procesos de tratamiento

tales como ósmosis inversa y electrodiálisis sólo recientemente se han convertido en algo verdaderamente accesible.

(<http://www.rincondelvago.com/tratamiento-de-aguas-residuales.html>;

<http://www.monografias.com/trabajos12/contagua/contagua.shtml>;

http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=42&id_art=1542).

*Nota: En el Capítulo 4 se describen detalladamente algunos de los procesos definidos en esta clasificación, debido a que dichos procesos (físicos, químicos y biológicos) se clasifican a su vez, (de acuerdo a su función en una estación de tratamiento de aguas), en distintos niveles de tratamiento llámense: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado, respectivamente.

3.1. *Procesos físicos*

Los procesos físicos de tratamiento de aguas residuales son todos aquellos en los que se emplean las fuerzas físicas para el tratamiento. En general, las operaciones físicas se emplean durante todo el proceso del tratamiento de las aguas residuales, aunque algunas son casi exclusivamente operaciones de pretratamiento (desbaste, dilaceración y homogenización de caudales).

Los principales procesos físicos son los siguientes:

- Desbaste.
- Dilaceración.
- Evaporación.
- Homogenización de caudales.
- Mezclado.
- Floculación.
- Sedimentación.
- Flotación.
- Filtración.

(Sans, 1999.).

(Además del contenido que se encuentra en este apartado, se dispone de más información sobre los procesos físicos en los apartados 4.1. y 4.2.).

3.1.1. Desbaste

La operación de desbaste consiste en la eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por retención en las superficies.

Los elementos utilizados para el desbaste son las rejjas y los tamices. Las rejjas presentan aberturas mayores de 25 mm mientras que en los tamices no serán superiores a 6 mm. Las rejjas se utilizan para separar los sólidos grandes, que puedan producir daños y obstrucciones en bombas, válvulas, conducciones u otros elementos. El tamiz se usa tanto para el tratamiento primario como para la eliminación de sólidos en suspensión en el tratamiento secundario. La limpieza de las rejjas y tamices se puede realizar mecánicamente o manualmente. (Sans, 1999.).

3.1.2. Dilaceración

La dilaceración es la trituración de sólidos gruesos en tamaños menores y más homogéneos. Esta operación no está destinada a mejorar la calidad del agua bruta ya que las materias trituradas no son separadas, sino que se reincorporan al circuito y pasan a los demás tratamientos, por lo que este paso no se suele utilizar, a no ser que no haya desbaste, con lo que sí es necesario incluirlo en el diseño y funcionamiento de la planta. Pero, a veces, aunque haya un desbaste previo, se suelen utilizar dilaceradores para tratar los detritus retenidos en las rejjas y tamices, siendo después vueltos a incorporar al agua bruta.

El dilacerador consta, de un tamiz tipo tambor que gira alrededor de un eje vertical provisto de ranuras con un paso entre 6 -10 mm. Los sólidos se hacen pasar a través de unas barras de cizalladura o dientes cortantes donde son triturados antes de llegar al tambor. Se homogeneizan en tamaño y atraviesan las ranuras, saliendo por una abertura de fondo mediante un sifón invertido, siguiendo su camino aguas abajo.

Esta operación está muy cuestionada y actualmente casi ha desaparecido de la mayoría de las instalaciones. Primero, no es lógico mantener o retornar al proceso aquellos sólidos que pueden eliminarse por desbaste o tamizado, ya que lo que se hace es

empeorar la calidad del agua residual que va a ser tratada posteriormente. Segundo, en la práctica, esta operación presenta varios inconvenientes: La necesidad de una atención frecuente debido a que se trata de un material muy delicado; el peligro de obstrucción de tuberías y bombas provocada por la acumulación en masas de las fibras textiles o vegetales unidas a las grasas; y la formación de una costra de fango en los digestores anaerobios.

(http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento).

3.1.3. Homogenización de caudales

La homogenización de caudales se realiza en el tratamiento de aguas residuales para tener caudales de tratamiento iguales y concentraciones de contaminantes mucho más homogéneas. Esta operación produce una mayor efectividad en los tratamientos posteriores.

La homogenización de caudales puede realizarse en todo el caudal de agua que llegue a la planta de depuración (disposición en línea), o bien sólo se homogeniza en caudal que excede a la media diaria, añadiéndolo a la depuración cuando el caudal de agua residual que llega es menor que el de la media (disposición en derivación). En este caso el gasto de bombeo es mínimo pero las concentraciones de contaminantes no son tan uniformes.

En aguas residuales de ciertos tipos de industrias es indispensable la homogenización; puesto que los vertidos son puntuales y las aguas residuales homogenizadas serán de más fácil tratamiento que por separado.

La ubicación de los homogenizadores en una planta depende del tipo de planta que se tenga pero, de una forma general, podemos decir que se encuentran entre el desarenador

y el tratamiento primario. En algunos casos puede ser interesante situarlos entre el tratamiento primario y el secundario. (Sans, 1999.).

3.1.4. Mezclado

La operación de mezclado es una operación importante en muchas fases del tratamiento de aguas residuales. Se utiliza cuando sea necesario que una sustancia determinada, se homogenice totalmente en el seno de otra. Debe realizarse el mezclado en la precipitación química; en los procesos biológicos el aire se debe mezclar con los fangos activados; en el proceso de desinfección, las aguas procedentes del último tratamiento se deben mezclar con el cloro o el hipoclorito sódico. (Sans, 1999.).

3.1.5. Floculación

La floculación es la operación en que las partículas en suspensión aumentan su superficie de contacto. Este aumento de la superficie de contacto es debido a la adición de productos químicos en los procesos de precipitación química o químicamente asistida. Debido a la floculación las partículas se agregan en partículas mayores (coagulación) y alcanzan la masa suficiente para sedimentar.

La floculación se ve favorecida por una agitación moderada, ya que en un mayor contacto entre las partículas favorece la formación de flóculos. Debe tenerse cuidado de que la agitación no sea excesivamente brusca puesto que podría destruir los flóculos formados; así mismo debe tenerse en cuenta en tiempo de floculación (antes de la sedimentación), tanto si se realiza en tanques unitarios como si se realiza en tanques separados. La agitación puede realizarse por medios mecánicos o por aire, debiendo presentarse una especial atención a que la agitación al final del tanque sea menor que al principio para evitar la rotura de algunos flóculos ya formados. (Sans, 1999.).

3.1.6. Sedimentación

La sedimentación es la separación de los componentes del agua en dos fases, una fase sólida, que corresponde a los fangos y que está formada por partículas de sólidos suspendidos, más pesados que el agua, que, por gravedad se depositan en el fondo, y una fase líquida formada por el agua y compuestos en disolución.

La sedimentación se utiliza en muchos puntos de la depuración de aguas residuales, siendo una de las operaciones físicas más empleadas. Se emplea en el desarenador, en el tanque de decantación primaria, después del proceso biológico, después del tratamiento químico de precipitación con coagulantes y en la concentración de sólidos en los espesadores de fangos.

La principal función de la decantación es la producción de un efluente clarificado, después de haber realizado el tratamiento correspondiente del agua residual.

(Sans, 1999.).

3.1.6.1. Teoría de la sedimentación aplicable

Según la clasificación de Fitch, basada en la concentración y tendencia a la interacción de las partículas, existen cuatro tipos de sedimentación diferenciadas:

- Sedimentación clase 1 ó de partículas discretas. Por ejemplo: desarenado.
- Sedimentación clase 2 ó de partículas flocculantes. Por ejemplo: decantación primaria.
- Sedimentación clase 3 o zonal. Por ejemplo: decantación secundaria en proceso fangos activos.
- Sedimentación clase 4 ó por compresión. Por ejemplo: espesamiento de fangos por gravedad.

(http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento.).

Sedimentación discreta

En la sedimentación de partículas discretas las partículas sedimentan como entes individuales y no hay interacción de unas partículas con otras. En general son sólidos en suspensión con una masa relativamente grande y en suspensiones no muy concentradas.

Este tipo de sedimentación se produce de una forma casi única en los desarenadores y parcialmente en los tanques de decantación primaria, así como la precipitación química, si no existe tratamiento primario.

El fundamento para la sedimentación de partículas discretas es la ley de Newton, que se basa en la suposición de que las partículas son esféricas con diámetros homogéneos. Cuando una partícula se sedimenta, va acelerándose hasta que las fuerzas que provocan la sedimentación, en particular el peso efectivo de la partícula, se equilibran con las resistencias o fuerzas de fricción ofrecidas por el líquido. Cuando se llega a este equilibrio, la partícula alcanza una velocidad de sedimentación constante, denominada velocidad final de sedimentación de la partícula. (Romero, 1999; Ramalho 1993.).

Sedimentación floculante

La sedimentación con floculación tiene lugar cuando la velocidad de sedimentación de las partículas aumenta, debido a la coalescencia con otras partículas. Las trayectorias de sedimentación de las partículas tienen forma curva, en lugar de las líneas rectas que se producen en la sedimentación de partículas discretas.

En la sedimentación floculante los sólidos en suspensión floculan, esta floculación produce una unión entre las partículas y adquieren la suficiente masa para sedimentar. Corresponden a partículas mucho más pequeñas que en el caso de sedimentación discreta. En general corresponde a sólidos en suspensión, con partículas mucho más

pequeñas que en caso anterior y con una excesiva concentración de sólidos y a los procesos de coagulación.

Este tipo de sedimentación se produce, generalmente, en los tanques de decantación primaria, en las zonas superiores de los decantadores secundarios y en los tanques de sedimentación química.

Los criterios de diseño para sistemas en los que se hace una sedimentación con floculación se establecen a través de ensayos de sedimentación en laboratorio.

(Romero, 1999; Ramalho 1993.).

Sedimentación zonal

En la sedimentación zonal, las partículas que sedimentan sufren interacciones entre sí, de tal forma que la posición de una partícula respecto a otra permanece prácticamente constante, sedimentando todas las partículas como una zona o unidad.

Este tipo de sedimentación se produce generalmente en los tanques de decantación secundaria, posteriores al tratamiento biológico, así como en los tanques de sedimentación de la precipitación química.

La sedimentación por zonas se presenta en clarificadores con lodos coagulados químicamente, o activos con concentraciones que exceden los 500 mg / l. la capa de lodos presenta varias zonas perfectamente diferenciadas. Cada zona se caracteriza por concentración específica en lodos y por una velocidad de sedimentación determinada.

El proceso de precipitación se presenta así: los lodos comienzan a precipitarse, estableciendo una interfase entre la superficie de la capa de sólidos que están sedimentándose y el líquido clarificado. La zona inferior del líquido clarificador es lo

que se denomina zona interfacial. La concentración de lodos en esta zona es uniforme, precipitándose todo ello como una capa de material a velocidad constante.

(Romero, 1999; Ramalho 1993.).

Sedimentación por compresión

La compresión, implica la formación de una estructura de partículas sedimentadas y sólo puede darse mayor sedimentación por compresión de dicha estructura. La compresión es debida al peso de las partículas que van sedimentando desde la superficie a los fangos del fondo del estanque de sedimentación. Cuanto mayor sea la compresión menor será el volumen de fangos que se obtengan, como es lógico la compresión se realiza en las capas inferiores de la masa de fango.

Este tipo de sedimentación se produce poco en los tanques de tratamiento primario y mayoritariamente ocurre en los tanques de sedimentación procedentes de la precipitación química y en los del proceso secundario.

Si bien se ha indicado, de una forma general, donde se produce cada tipo de sedimentación de las aguas residuales a tratar y el tipo de proceso que se ha realizado con anterioridad a la sedimentación, los tipos de sedimentación pueden tener lugar simultáneamente. (Romero, 1999.).

3.1.7. Flotación

Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la flotación, en la que se fuerza la entrada de aire en las mismas, a presiones de entre 1.75 y 3.5 kg por cm². El agua residual, supersaturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto. En él, la ascensión de las burbujas de

aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75 % de los sólidos en suspensión. (Microsoft Encarta 2006.).

3.1.8. Filtración

La operación de filtración permite la eliminación de sólidos en suspensión, procedentes de las aguas después del tratamiento y sedimentación biológica, así como de la precipitación química.

La filtración se realiza, generalmente a través de los lechos filtrantes, compuestos de material granular, con o sin adición de productos químicos. También se pueden utilizar microtamices. La filtración en medios granulados se realiza a través de varios mecanismos de eliminación tales como el tamizado, interceptación, impacto, sedimentación y adsorción. (Sans, 1999.).

3.2. Procesos químicos

Los procesos químicos son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes del agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos. Los procesos químicos se utilizan en la depuración de aguas junto a operaciones físicas y procesos biológicos

Los principales procesos químicos son los siguientes:

- Precipitación química.
- Transferencia de gases.
- Separación de amoniaco mediante arrastre con aire.
- Adsorción.
- Desinfección.
- Desinfección con cloro.
- Ozono (eliminación de materia orgánica refractaria).
- Decloración.
- Decloración con dióxido de azufre.
- Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas.
- Intercambio iónico.
- Ósmosis inversa.
- Ultrafiltración.

(Sans, 1999.).

(Además del contenido que se encuentra en este apartado, se dispone de más información sobre los procesos químicos en los apartados 4.3. y 4.5.).

3.2.1. Precipitación química

La precipitación química consiste en añadir ciertos productos químicos al agua residual para conseguir que éstos alteren el estado físico de los sólidos disueltos o en suspensión y se produzca una eliminación por sedimentación.

La precipitación química puede ser el principal y único método de depuración de aguas residuales industriales; en otros casos puede ayudar a la operación de sedimentación cuando exista una gran concentración de sólidos disueltos y en suspensión, y se pueda utilizar como un tratamiento anterior o un proceso biológico.

Mediante la precipitación química puede obtenerse un agua casi exenta de sólidos en suspensión y en estado coloidal. En general se elimina del 80 al 90 % de la materia total en suspensión, del 40 al 70% de la DBO, del 30 al 60 % de DQO y del 80 al 90 % de bacterias. Tiene especial interés la eliminación del fósforo y de sustancias orgánicas disueltas. (Sans, 1999.).

Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio reacciona con el agua en medio débilmente ácido, neutro o débilmente alcalino, produciendo hidróxido de aluminio insoluble, flóculo gelatinoso que, al sedimentar lentamente, arrastra consigo a las partículas en suspensión. El hidróxido de aluminio recién precipitado tiene la importante propiedad de absorber fuertemente ciertos colorantes orgánicos formando lo que se denomina lacas.

El hidróxido de aluminio se disuelve en medios ácidos, originando fundamentalmente el catión aluminio (Al^{3+}); también se disuelve en medios básicos dando el anión aluminato (AlO_2^-). La mínima solubilidad de este hidróxido se presenta para valores de pH comprendidos entre 6.5 y 7.5.

Se debe tener en cuenta que el aluminio forma complejos estables con tartratos, citratos, oxalatos, glicerina, azúcares, fluoruros y sustancias polihidroxiladas; en consecuencia, la precipitación química en presencia de estas sustancias puede tener un bajo o nulo rendimiento. (Sans, 1999.).

Sulfato ferroso

El sulfato ferroso se utiliza como coagulante debido a la formación de un hidróxido férrico insoluble que forma un flóculo gelatinoso y voluminoso de color pardo rojizo.

La acción coagulante del hidróxido férrico es similar a la del hidróxido de aluminio.

El ión ferroso es un catión poco ácido que sería muy estable en disolución acuosa si se impidiese su oxidación a catión férrico. Precipita el hidróxido ferroso a valores de pH próximos a 8 y no presenta un marcado carácter anfótero. Si la alcalinidad del agua residual es debida a carbonatos o bicarbonatos, precipitará el carbonato ferroso, que es más estable que el hidróxido, aunque se oxida, en presencia de oxígeno disuelto o ambiental, a hidróxido férrico. Como consecuencia de la mayor estabilidad del carbonato ferroso frente al hidróxido ferroso, en aguas residuales que contenga iones carbonato o bicarbonato, será necesaria la precipitación de éste en forma de carbonato cálcico; en estos casos resulta prácticamente indispensable añadir hidróxido cálcico.

Se debe tener en cuenta que el ión ferroso forma un complejo muy estable e inerte con el ión cianuro, y complejos menos estables con tartratos, citratos, oxalatos y, en general, con compuestos orgánicos polihidroxilados, en consecuencia, no se podrá realizar la precipitación química con ión ferroso en presencia de estos iones. (Sans, 1999.).

Sales férricas

Las sales férricas utilizadas son los cloruros y los sulfatos. Desde valores de pH próximos a 2 hasta los de fuerte alcalinidad, el ión férrico precipita como hidróxido férrico insoluble y se comporta tal como se ha indicado anteriormente.

El ión cloruro y el cianuro intensifican el color amarillo; el fluoruro, el fosfato y el pirofosfato, lo decoloran; otros aniones forman compuestos altamente coloreados.

Debe tenerse en cuenta que la formación del hidróxido férrico nos hará disminuir el pH del medio y aunque la precipitación se realice incluso a $\text{pH} = 2$, para mantener el pH a niveles aproximadamente neutros, podría ser necesario añadir hidróxido sódico al agua.

Tal como se ha indicado anteriormente, la formación de complejos en aguas residuales que contengan fluoruros alcalinos, tartratos, citratos, malatos y, en general, las sustancias orgánicas prehidroxiladas, inhibirán la precipitación del hidróxido.

(Sans, 1999.).

Hidróxido cálcico

La acción coagulante del hidróxido cálcico proviene de la formación de un precipitado de carbonato cálcico. La cantidad de cal que debe añadirse debe ser la suficiente para combinarse con todo el anhídrido carbónico libre, así como con los carbonatos y bicarbonatos. Si los vertidos aportan ácidos minerales o sales ácidas, estos vertidos deberán neutralizarse antes del tratamiento con cal. (Sans, 1999.).

3.2.2. Transferencia de gases

La transferencia de gases es el proceso mediante el cual el gas es transferido de una fase a otra. En el tratamiento de aguas residuales, la transferencia se hace generalmente desde el gas al líquido, excepto en casos donde nos interesa eliminar el gas que se produce en un tratamiento determinado. En todos los procesos aerobios, tales como la filtración biológica, fangos activados y digestión aerobia, es necesario que el agua residual contenga la suficiente cantidad de oxígeno para que se realice el proceso, en consecuencia debe aportarse aire u oxígeno puro al proceso puesto que, debido a la baja solubilidad del oxígeno en agua no es suficiente el que se obtiene a través de la interfase aire – superficie de agua.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales la aireación se realiza introduciendo aire en el agua hasta diversas profundidades. Los sistemas de aireación están formados por placas y tubos porosos, tubos perforados y difusores. También se utilizan aparatos de cizalladura hidráulica y mezcladores de turbina. Otra forma de aireación es con los denominados aireadores de superficie que introducen grandes cantidades de oxígeno en las aguas y que consisten en turbinas de alta velocidad que giran en la superficie del líquido parcialmente sumergidas. Estos aireadores cumplen la doble misión de introducir oxígeno en el agua y mezclar el líquido en el tanque. (Sans, 1999.).

3.2.3. Adsorción

El proceso por el cual los iones, o las moléculas, son retenidos sobre la superficie de un sólido, es lo que se denomina adsorción. El sólido recibe el nombre de adsorbente y la sustancia que es adsorbida el nombre de adsorbato.

En el tratamiento de aguas residuales el proceso de flotación puede considerarse una adsorción, en donde el adsorbente son los sólidos en suspensión y el adsorbato es el aire o el gas utilizado.

El carbón activo es el adsorbente más utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Los procesos de adsorción en el tratamiento de aguas residuales son, por lo general, muy poco utilizados y su mayor utilización se encuentra en el refinado de las aguas procedentes de tratamientos químicos o de tratamientos biológicos, (es decir, en los tratamientos terciarios) con adsorción de materia orgánica residual disuelta y la eliminación de la materia particulada. En aguas residuales municipales, en donde la aportación de aguas residuales industriales sea importante y supongan una problemática para el tratamiento por procesos biológicos, puede ser interesante el tratamiento total de estas aguas con carbón activo. (Sans, 1999.).

3.2.4. Desinfección

La desinfección de las aguas consiste en la eliminación de los organismos presentes en las aguas que pueden producir enfermedades. Se debe diferenciar entre la desinfección y la esterilización, ya que esta última implica la destrucción total de los organismos, mientras que la primera implica la destrucción de organismos que, por ingestión, pueden producir enfermedades en los hombres o en los animales.

Los tres principales organismos que pueden producir enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amebianos.

La desinfección puede realizarse mediante productos químicos, agentes físicos, medios mecánicos y radiación.

Los productos químicos utilizados con desinfectantes son los siguientes: cloro y sus compuestos, bromo, iodo, ozono, fenol y compuestos fenólicos, alcoholes, metales pesados, colorantes, detergentes, agua oxigenada, ácidos álcalis. Los productos más empleados son el cloro y sus compuestos, ozono y agua oxigenada.

Los agentes físicos, son el calor, la luz y la radiación ultravioleta.

Los medios mecánicos no son especialmente utilizados como destructores de organismos, sino que su actuación es consecuencia de un proceso secundario de su misión principal.

La desinfección por radiación se realiza fundamentalmente por radiación electromagnética de rayos gamma. La radiación gamma se utiliza tanto para desinfectar y esterilizar las aguas residuales como las aguas potables. (Sans, 1999.).

3.2.5. Decloración

La decloración de las aguas residuales consiste en la eliminación de todo el cloro residual combinado. Tal como se ha dicho anteriormente, con el cloro reaccionan muchos compuestos orgánicos, algunos de estos compuestos pueden ser altamente tóxicos para la flora y fauna del medio en que se vierten las aguas. Algunos estudios han llegado a la conclusión que las aguas municipales cloradas después de un tratamiento biológico o de precipitación química, aumentan de toxicidad; de aquí la necesidad de la decloración, para eliminar todos estos posibles compuestos tóxicos.

Los mejores agentes de decloración son el dióxido de azufre y el carbón activo. También se puede utilizar el sulfito sódico y el metabisulfito sódico. (Sans, 1999.).

3.2.6. Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas

La eliminación de sustancias inorgánicas en disolución se puede realizar con las operaciones siguientes: precipitación química, intercambio iónico, ósmosis inversa y ultrafiltración.

De las cuatro operaciones indicadas, quizá la de mayor aplicación sea la precipitación química, descrita ya en apartados anteriores.

Los procesos de intercambio iónico, ósmosis inversa y ultrafiltración son procesos variables y de futuro, sobre todo en el tratamiento de aguas residuales industriales, ya que dichos tratamientos permitirán la reutilización de estas aguas.

(Sans, 1999.).

3.3. Procesos biológicos

El tratamiento biológico de las aguas residuales se puede realizar en todo tipo de aguas y es generalmente un tratamiento secundario. Tiene como misión la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables en la decantación primaria así como la estabilización de la materia orgánica.

Se consigue biológicamente utilizando una variedad de microorganismos principalmente bacterias.

En el tratamiento biológico el proceso consiste únicamente transformando los nutrientes en tejido celular y diversos gases. El tejido celular es ligeramente más pesado que el agua, en consecuencia, la separación se tendrá que hacer por sedimentación y decantación. Si no se eliminase el tejido celular del agua el nivel de DBO de las agua disminuiría poco puesto que el tejido celular es materia orgánica y la disminución correspondería a la conversión bacteriana de nutrientes en productos gaseosos.

Según el tipo de agua residual a tratar los objetivos en el tratamiento biológico pueden diferenciarse ligeramente; en el tratamiento de aguas residuales domésticas los objetivos son la eliminación de la materia orgánica así como nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo; en aguas residuales industriales el tratamiento persigue la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos, teniendo en cuenta que algunos metales pesados son tóxicos para las bacterias utilizadas en ciertos procesos biológicos. En función del uso de las aguas residuales tratadas también se emplearán distintos tratamientos biológicos (por ejemplo, para usar las aguas tratadas en agricultura o riego el tratamiento va encaminado a la eliminación de nutrientes de plantas acuáticas).

Los principales procesos de tratamiento biológico utilizados en el tratamiento de aguas residuales en cuanto al tipo de microorganismos son: procesos aerobios, procesos

anóxicos, procesos anaerobios y una combinación de los procesos aerobios con los anóxicos o anaerobios. En cuanto a la situación de los microorganismos se dividen en: Procesos de cultivos en suspensión, procesos de cultivo fijo o combinaciones de los mismos.

Los microorganismos más utilizados en los tratamientos biológicos son: bacterias, hongos, algas, protozoos, rotíferos, crustáceos y virus. (Sans, 1999.).

(Además del contenido que se encuentra en este apartado, se dispone de más información sobre los procesos biológicos en el apartado 4.3.)

3.3.1. Definiciones

Las siguientes definiciones permitirán tener un conocimiento más amplio acerca de los tratamientos biológicos de aguas residuales.

- *Procesos aerobios*: Son los procesos de tratamiento biológico, que sólo se dan en presencia de oxígeno. A las bacterias que únicamente pueden sobrevivir en presencia de oxígeno se les conoce con el nombre de *aerobias obligadas*
- *Procesos anaeróbicos*: Son los procesos de tratamiento biológico que solo se dan en ausencia de oxígeno. A las bacterias que únicamente pueden sobrevivir en ausencia de oxígeno se les conoce con el nombre de *anaerobias obligadas*.
- *Desnitrificación anóxica o anaerobia*: Es el proceso de tratamiento biológico por el cual el nitrógeno de los nitratos, se transforma en nitrógeno gas en ausencia de oxígeno.
- *Procesos facultativos*: Son los procesos de tratamiento biológico en los que los organismos responsables del mismo son diferentes a la presencia o ausencia de oxígeno disuelto.

- *Microaerófilos*: Son microorganismos que crecen mejor a bajas concentraciones de oxígeno.
- *Eliminación de la DBO carbonosa*: Es la conversión, por métodos biológicos de la materia orgánica carbonosa del agua residual en tejido celular y diversos productos gaseosos. Se supone que en esta conversión el nitrógeno presente en el agua residual pasa a amoníaco.
- *Nitrificación*: Es un proceso biológico en el cual el amoníaco se transforma primeramente en nitritos y seguidamente en nitratos.
- *Desnitrificación*: Es un proceso biológico en el cual en nitrato se transforma en gas nitrógeno y otros productos gaseosos.
- *Estabilización*: Es el proceso biológico por el que se estabiliza la materia orgánica de los fangos producidos en la decantación primaria y en el tratamiento biológico; ello sucede por conversión en gases y tejido celular. Según que la estabilización se realice en condiciones aerobias o anaerobias se denomina *digestión aerobia* o *digestión anaerobia*, respectivamente.
- *Sustrato*: Es el término empleado para indicar la materia orgánica o los nutrientes que sufren una conversión o que pueden ser un factor limitante en el tratamiento biológico.
- *Procesos de cultivo en suspensión*: Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables del proceso se mantienen en suspensión dentro del líquido.
- *Procesos de cultivo fijos o película fija*: Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables del proceso están fijados a un medio inerte, especialmente diseñado.

(Sans, 1999.).

3.3.2. Clasificación de los procesos biológicos

Los principales procesos biológicos se clasifican de la siguiente manera:

- Procesos aerobios.
 - Procesos de tratamiento aerobio de cultivo en suspensión.
 - Fangos (lodos) activados.
 - Nitrificación.
 - Lagunas aireadas aerobias.
 - Estanques de estabilización aerobia.
 - Procesos aerobios de cultivo fijo.
 - Filtros precoladores.
 - Filtros de pretratamiento.
- Procesos anóxicos de cultivos en suspensión y fijos.
 - Procesos de desnitrificación en sistemas independientes.
 - Procesos combinados de oxidación del carbono y nitrificación – desnitrificación.
- Procesos anaerobios de tratamiento.
 - Digestión anaerobia.
 - Proceso anaerobio de contacto.
 - Filtro anaerobio.
- Combinación de procesos de tratamiento aerobios / anóxicos o anaerobios.
 - Estanques facultativos.
- Sistemas de tratamiento por aplicación al terreno.
 - Riego.
 - Infiltración rápida.
 - Circulación superficial en lámina.

(Sans, 1999.).

3.3.2.1. Procesos de tratamiento aerobio de cultivo en suspensión

Estos tipos de tratamiento se utilizan generalmente para eliminar la materia orgánica y para la nitrificación de las aguas residuales domesticas residuales. En estos tratamientos los microorganismos encargados de los procesos se mantienen en suspensión con los compuestos en disolución que contienen las aguas residuales a tratar. Se definen a continuación los tipos de tratamiento más ampliamente utilizados. (Sans, 1999.).

3.3.2.1.1. Lodo activado

Se trata de un proceso aeróbico en el que partículas gelatinosas de lodo quedan suspendidas en un tanque de aireación y reciben oxígeno. Las partículas de lodo activado, llamadas floc, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa. El floc absorbe la materia orgánica y la convierte en productos aeróbicos. La reducción de la DBO₅ fluctúa entre el 60 y el 85 %. (Microsoft Encarta 2006.).

3.3.2.1.2. El proceso de nitrificación

Son procesos llevados a cabo por determinados grupos de microorganismos bacterianos que se utilizan en aquellas plantas de tratamiento de aguas residuales, donde aparte de la eliminación de la materia orgánica se persigue la eliminación de nitrógeno.

La eliminación de la materia nitrogenada es necesaria cuando el efluente de la estación depuradora de aguas residuales va a ir bien a embalses o masas de agua utilizadas para captación de aguas potables, bien a las denominadas por ley como zonas sensibles.

(Sans, 1999.).

3.3.2.1.3. Estanque de estabilización o laguna

Otra forma de tratamiento biológico es el estanque de estabilización o laguna, que requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suelen construirse en zonas rurales. Las lagunas opcionales, que funcionan en condiciones mixtas, son las más comunes, con una profundidad de 0.6 a 1.5 m y una extensión superior a una hectárea.

En la zona del fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aeróbica, permitiendo la oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Puede lograrse una reducción de la DBO₅ de un 75 a un 85 %. (Microsoft Encarta 2006.).

3.3.2.2. Procesos aerobios de cultivo fijo

Estos procesos tienen idéntica misión que los procesos de suspensión, pero en estos procesos los microorganismos se mantienen fijos en lechos formados por materiales muy permeables. (Sans, 1999.).

A continuación se describen algunos de los procesos más utilizados así como los tipos de filtros.

3.3.2.2.1. Filtro de goteo

En este proceso, una corriente de aguas residuales se distribuye intermitentemente sobre un lecho o columna de algún medio poroso revestido con una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes destructores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en

dióxido de carbono y agua. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir cerca de un 85 % la DBO₅. (Microsoft Encarta 2006.).

3.3.2.3. Procesos anóxicos de cultivos en suspensión y fijos

Los procesos anóxicos de cultivos en suspensión y fijos se utilizan para la eliminación del nitrógeno en forma de nitratos, por transformación biológica en nitrógeno gas. Este proceso se conoce con el nombre de *desnitrificación* y se realiza en condiciones anóxicas. La desnitrificación puede realizarse en cultivos en suspensión y fijos, así como en sistemas independientes con fuente exterior de carbono y en sistemas combinados de oxidación del carbono y nitrificación – desnitrificación. (Sans, 1999.).

3.3.3. Procesos anaerobios de tratamiento

Los procesos anaerobios son utilizados para la estabilización de fangos, residuos industriales y residuos orgánicos diluidos. En estos procesos se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno. Los procesos anaerobios se dividen en cultivos en suspensión y cultivos fijos. Los principales procesos de cultivo en suspensión: digestión anaerobia y procesos anaerobios de contacto. (Sans, 1999.).

3.3.3.1. Digestión anaerobia

En este proceso, la materia orgánica contenida en los fangos primarios y biológicos se convierte biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano y dióxido de carbono. El fango tratado no es putrescible y su contenido en organismos patógenos es muy bajo.

Se utilizan dos tipos de digestores: baja carga y alta carga. El reactor de baja carga tiene tiempos de digestión altos y no se calienta ni se agita. El reactor de alta carga se calienta y agita, dando tiempos de retención mucho menores. Se puede utilizar también una combinación de ambos.

La digestión se realiza en dos o tres etapas, actuando microorganismos diferentes en cada etapa. En el modelo de dos etapas, el primer grupo de microorganismos (bacterias facultativas y anaerobias obligadas no metanogénicas) hidroliza y fermenta los compuestos orgánicos complejos a ácidos simples. El segundo grupo de microorganismos (bacterias anaerobias estrictas metanogénicas), convierten los ácidos simples en metano y anhídrido carbónico. (Sans, 1999.).

3.3.3.2. Proceso anaerobio de contacto

Este proceso se puede utilizar para aguas residuales industriales con alta carga de DBO. El agua residual se mezcla con fango recirculado y se digiere en un reactor anaerobio. Tras la digestión se realiza el mezclado completo del reactor y se separan los fangos en un clarificador o unidad de flotación al vacío. El sobrenadante se vierte como fluente y los fangos sedimentados se recirculan a la entrada. El exceso de fangos es pequeño. (Sans, 1999.).

3.3.3.3. Filtro anaerobio

Este tipo de procesos se realiza en una columna rellena de diversos soportes en los que se fijan y se desarrollan las bacterias anaerobias. El tratamiento se desarrolla principalmente, para el tratamiento de la materia carbonosa orgánica; el agua residual a

tratar fluye en sentido ascendente, y como las bacterias están fijas a los soportes, pueden tenerse tiempos de retención celular elevados. (Sans, 1999.).

3.3.4. Combinación de procesos de tratamiento aerobios / anóxicos o anaerobios

Existe una serie de procesos combinados de los cuales ya se ha descrito el de nitrificación – desnitrificación para la eliminación del nitrógeno. Otros procesos combinados son los estanques facultativos. (Sans, 1999.).

3.3.4.1. Estanques facultativos

Un estanque facultativo es un estanque excavado en el terreno y profundo. El agua residual a tratar se introduce por la parte inferior del tanque a cierta altura para evitar la agitación de los fangos sedimentados y el efluente se recoge por la parte superior. Podemos considerar que el tanque está dividido en tres regiones: la región inferior, donde se produce la digestión anaerobia de los fangos; una zona intermedia en donde la descomposición de los residuos orgánicos es llevada a cabo por bacterias facultativas, y una zona superior donde se produce la descomposición aerobia, realizada por bacterias aerobias. El oxígeno necesario para realizar el proceso aerobio se obtiene por algas o por aireadores de superficie. (Sans, 1999.).

3.3.5. Sistemas de tratamiento por aplicación al terreno

La superficie y el perfil del suelo pueden proporcionar al tratamiento físico y químico de las aguas residuales, a la vez que un hábitat de los microorganismos para realizar procesos biológicos. El suelo puede eliminar la materia orgánica, el nitrógeno, el

fósforo, los cationes intercambiables, metales a nivel de trazas así como microorganismos.

La oxidación de la materia orgánica por el suelo es, generalmente, un proceso aerobio de gran efectividad. Altas cargas orgánicas aplicadas a los suelos pueden crear condiciones anaerobias con la producción de olores; en consecuencia, la carga de materia orgánica debe ser intermitente, para permitir la entrada de aire en el suelo y la consiguiente oxidación aerobia.

El nitrógeno se elimina por aplicación al terreno, mediante la incorporación en los cultivos y mediante procesos de desnitrificación.

El fósforo se elimina por aplicación al terreno, mediante adsorción y precipitación química; algunos cultivos también captan ciertas cantidades de fósforo.

El suelo es un buen intercambiador de iones lo cual produce una elevada retención de metales presentes en aguas residuales. Algunos de estos metales son esenciales para el crecimiento de las plantas pero pueden ser tóxicos en elevadas concentraciones, tanto para las plantas como para los microorganismos. En condiciones de pH ácido algunos metales pueden sufrir lixiviación. Se debe prestar especial atención a los cationes intercambiables, tales como sodio, calcio y magnesio. El sodio, en grandes concentraciones, produce la dispersión de los suelos y disminuye su permeabilidad. El calcio se puede intercambiar con el hierro, propiciando la ausencia de este elemento y, en consecuencia, evitando el crecimiento de las plantas.

Las bacterias son eliminadas por el terreno mediante retención, muerte, sedimentación, atrapamiento y adsorción.

La vegetación tiene como misión la eliminación de nutrientes, mantener la permeabilidad, reducir la erosión y servir como medio para los microorganismos.

En la aplicación de aguas residuales a terrenos se deben tener en cuenta los factores de salud pública siguientes:

- a) Agentes bacteriológicos y posible transmisión de enfermedades.
- b) Productos químicos que pueden llegar a aguas subterráneas.
- c) Calidad de los cultivos.

Mayoritariamente son utilizados tres procesos de aplicación de aguas residuales a terrenos y su utilización depende de las características necesarias del agua tratada, características del agua residual a tratar, disponibilidad de terreno, disponibilidad de agua potable, presencia de núcleos urbanos, cantidad de agua residual a tratar, climatología, niveles de la capa freática, permeabilidad del suelo y presencia de aguas subterráneas.

Los tres tipos más importantes son:

- Riego.
- Infiltración rápida.
- Circulación superficial en lámina.

(Sans, 1999.).

3.3.5.1. Riego

El principal objetivo del riego es el tratamiento de aguas residuales, obteniendo unos objetivos adicionales tales como el aprovechamiento de los nutrientes del agua residual para producir cultivos comerciales, conservación del agua por sustitución en el riego de céspedes, campos de golf, parques, así como la preservación de zonas verdes.

Ante un proyecto de este tipo se deben tener en cuenta los siguientes parámetros: objetivos, selección del emplazamiento, tratamiento previo la aplicación, clima, almacenamiento, carga de aplicación, necesidades de terreno, selección del cultivo, métodos de aplicación, ciclos de aplicación, drenaje y control de escorrentías superficiales. (Sans, 1999.).

3.3.5.2. Infiltración rápida

Al igual que el riego, el principal objetivo de la infiltración rápida es el tratamiento de aguas residuales; los objetivos secundarios son la recarga de acuífero, la extracción del agua tratada mediante pozos y sistemas de drenaje para su recuperación.

En este sistema de tratamiento la mayoría del agua residual aplicada se filtra a través del suelo. Los suelos que se utilizan son altamente permeables, generalmente no se utiliza la vegetación y la evaporación es menor que en el riego y la circulación en lámina. Es necesario el funcionamiento intermitente para permitir que el oxígeno atmosférico penetre en el suelo y se restablezcan las condiciones aerobias. Al secarse la superficie, se activa la descomposición aerobia de la materia orgánica así como la nitrificación. Cuando se vuelve a poner agua residual, el nitrato formado sufre una lixiviación, hasta que se encuentran las condiciones anaerobias para la desnitrificación. Los suelos utilizados tienen poca retención de sales solubles (tipo cloruros, sulfatos, sodio) y en consecuencia, pasan la mayoría de estos iones que contenían las aguas residuales, a las aguas tratadas; no obstante, la de metales pesados y fósforo es importante. La aplicación al terreno se realiza por aspersión y por estanques de extensión. El único tratamiento aconsejado, antes de su aplicación al terreno, es una decantación primaria para la eliminación de los sólidos en suspensión. (Sans, 1999.).

3.3.5.3. Circulación superficial en lámina

El tratamiento de aguas residuales por circulación superficial en lámina tiene como principal y casi único objetivo obtener un efluente con muy baja carga de materia orgánica así como un elevado proceso de nitrificación y desnitrificación.

El agua a tratar se añade al terreno mediante aspersión o aplicación superficial, en zonas superiores de una terraza, para dejar que fluya, por construcción de una pendiente, a través de superficies vegetales, hasta las zanjas de recogida. El terreno empleado es altamente impermeable y la percolación es muy baja. Se utiliza para mejorar las aguas residuales que hayan recibido un tratamiento primario o de lagunaje y también conseguir altos niveles de eliminación de nitrógeno y materia orgánica en aguas procedentes de efluentes de tratamiento secundario.

La vegetación es esencial en el tratamiento, ya que sirve como hábitat de la población de microorganismos, previene la erosión y capta los nutrientes. (Sans, 1999.).

CAPÍTULO 4

CAPÍTULO 4. NIVELES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Puede definirse como esencial los siguientes objetivos justificativos de cualquier acción relativa a la depuración de las aguas.

- Prevenir y reducir al máximo la contaminación y sus molestias.
- Mantener un balance ecológico satisfactorio y asegurar la protección de la biósfera.
- Prever el desarrollo urbano, teniendo en cuenta las necesidades de calidad.
- Asegurar una atención especial a los aspectos ambientales en la planificación del suelo y de las ciudades.

La selección de los procesos del tratamiento de aguas residuales o la serie de procesos de tratamiento dependen del grado de purificación que se requiera considerando ciertos factores:

- a) Características del agua residual: DBO, materia en suspensión, pH, productos tóxicos, entre otros.
- b) Calidad del efluente de salida requerido.
- c) Coste y disponibilidad de terrenos; por ejemplo, ciertos tratamientos biológicos (lagunaje, estanques de estabilización) son económicamente viables únicamente en el caso de que se dispongan de terrenos de bajo coste.
- d) Consideración de las futuras ampliaciones o la previsión de límites de calidad de vertido más estrictos, que necesiten el diseño de tratamientos más sofisticados en el futuro.
- e) Coste local del agua; por ejemplo, ciertos tratamientos sofisticados (ósmosis inversa, electrodiálisis, etcétera) podrían justificarse en determinadas regiones en el que el coste del agua es elevado, y estarían fuera de lugar en regiones de bajo coste del agua.

Desde el punto de vista de los rendimientos alcanzables en los procesos de depuración, éstos se clasifican en:

- Depuración primaria o física.
- Depuración secundaria, normalmente por procesos biológicos.
- Depuración terciaria.

Los rendimientos alcanzables por estos procesos pueden ser los reflejados en la **Tabla 4.(1)**.

TABLA 4.(1). RENDIMIENTOS DE LA DEPURACIÓN

Procesos de depuración	% de reducción		
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacteria coli.
Cloración del agua bruta o sedimentada.	15 - 30	-	90 – 95
Depuración primaria. Sedimentación.	25 – 40	40 - 70	25 – 55
Depuración secundaria. Precipitación química.	50 – 85	70 – 90	40 – 60
Depuración secundaria. Lecho bacteriano de alta carga precedido y seguido de sedimentación.	65 – 92	65 – 92	80
Depuración secundaria. Lecho bacteriano de baja carga precedido y seguido de sedimentación.	80 – 92	70 – 92	90
Depuración secundaria. Fangos activos de alta carga, precedidos y seguidos de sedimentación.	65 – 92	65 – 92	80
Depuración secundaria. Método convencional de fangos activos, precedidos y seguidos de sedimentación.	75 – 92	85 – 92	90
Depuración terciaria.	92 - 98	93 – 98	-
Cloración del agua tratada biológicamente.	-	-	98 - 99

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita". Thomson Learning, España. p. 45.

El vertido de aguas residuales a un cauce exige, al menos, un tratamiento primario o depuración física, logrando unas reducciones en DBO₅ del 35 % y en SS del 50 – 55 %. Es necesaria la construcción de instalaciones importantes complementarias del pretratamiento citado anteriormente, como decantación e instalación para el tratamiento o eliminación de los lodos recogidos. Se precisa un mantenimiento y explotación costosos. En el otro platillo de la balanza, por dichas inversiones y gastos, se consiguen

unas aguas depuradas que pueden retornar al medio ambiente para nuevos usos, con unos lodos de posible utilización como abonos y con una posible producción de gas, es decir una recuperación energética.

Pero si el medio ambiente, el cauce en concreto, precisa bajar más la contaminación se deberá pasar a un escalón más de depuración para reducir la DBO₅, en un 85 – 90 % y los SS en un 85 - 92 % en este caso, es preciso acudir a procesos de tratamientos secundarios o biológicos. Las instalaciones anteriores deberán ser completadas con reactores biológicos, decantadores secundarios, aumento de las instalaciones de tratamiento de lodos, complementos y conexión con las instalaciones de tratamiento primario. (Hernández, 2000).

En las **Figura 4.(1)** se puede observar de manera esquemática los niveles de tratamiento de aguas en una estación depuradora de aguas residuales.

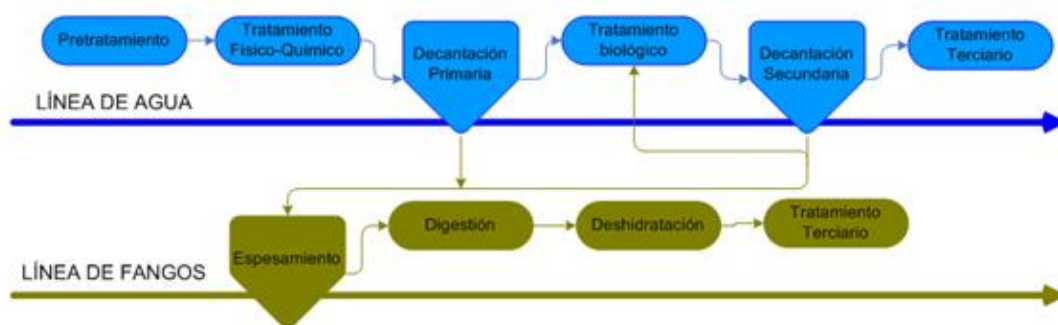


FIGURA 4.(1). DIAGRAMA DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES.

- El tratamiento físico químico así como la decantación primaria son considerados “tratamiento primario”.
- El tratamiento biológico y la decantación secundaria forman parte del “tratamiento secundario”.
- A su vez el tratamiento terciario se le conoce también como “tratamiento avanzado”.

Fuente:

http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Estaci%C3%B3n_depuradora_de_aguas_residuales.

Consideraciones sobre la implantación de las depuradoras

La implantación de las depuradoras depende de varios factores condicionantes:

- Superficie precisa.
- Distancia al núcleo desde su punto de ubicación, por problemas de olores.
- Coste estimado de la depuradora.
- Problemas sanitarios que la depuradora pueda generar.



FIGURA 4.(2). EDAR, ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES.

Con el incremento de las actividades industriales, se han concentrado los puntos de vertidos a los medios acuáticos. Al crecer las ciudades, han multiplicado sus aguas negras y las explotaciones ganaderas generan cada vez más residuos líquidos. Todo ello nos ha obligado a diseñar mecanismos de depuración para poder mantener los medios acuáticos en condiciones naturales. El más utilizado es el de las plantas depuradoras.

Fuente: <http://www.kalipedia.com>.

Superficie precisa

La superficie precisa en pequeñas depuradoras presenta variaciones muy importantes. A título indicativo pueden señalarse:

- Plantas convencionales : 0.12 – 0.2 m² / hab.
- Lagunajes aireados : 2.8 – 3.8 m² / hab.
- Lagunajes naturales : 8.5 – 10 m² / hab.
- Lechos de turba : 0.4 – 0.55 m² / hab.
- Filtros verdes: : 12 – 16 m² / hab.

Distancia del núcleo

En cuanto a la distancia de la ubicación de la depuradora en relación con zonas habitadas, podría decirse que depende de las garantías que se adopten, pudiéndose colocarla en recinto cerrado y con las medidas adecuadas dentro de la zona habitada.

No obstante según investigaciones se ha llegado a definir que la producción de olores, normal en algunas etapas del proceso, y su transmisión dependen de condiciones meteorológicas diversas como: Presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, así como de la temperatura y humedad.

Se recomienda en cualquier caso una distancia mínima a la vivienda más próxima de 200 m para depuradoras ubicadas en recintos no cerrados.

(Hernández, 2000.).

4.1. Pretratamiento

Las aguas residuales traen consigo una gran cantidad de sólidos que de una forma u otra finalmente van a parar a la planta de tratamiento de aguas residuales ya sean latas, botellas, plásticos, trapos, ladrillos, piedras, etcétera. Todos estos materiales, si no son eliminados eficazmente, pueden producir serias averías en los equipos. Estos objetos producen un gran desgaste de las tuberías de las conducciones así como de las bombas.

A la planta también llegan aceites y grasas de todo tipo; si estas grasas y aceites no son disminuidos o aminorados en el pretratamiento, hacen que muchos de los tratamientos posteriores se entorpezcan y el rendimiento de dicho tratamiento decaiga, obteniendo un efluente de baja calidad.

Por todo lo anterior expuesto, se puede conocer y justificar la importancia del pretratamiento, escatimar medios o esfuerzos en este nivel de tratamiento, es bajar el rendimiento de toda la planta, aunque ésta tuviera el mejor de los procesos biológicos.

El pretratamiento, por lo tanto pretende separar del agua residual tanto con operaciones físicas como con operaciones mecánicas, la mayor cantidad de materias que por su naturaleza o por su tamaño generen problemas (obstrucción de tuberías y bombas, depósitos de arenas, rotura de equipos, etcétera) en los tratamientos posteriores.

Las operaciones de pretratamiento incluidas en una planta depuradora dependen de:

- La procedencia del agua residual (doméstica, industrial, etcétera).
- La calidad del agua bruta a tratar (mayor o menor cantidad de grasas, arenas sólidos, etcétera).
- Del tipo de tratamiento posterior a seguir en la planta depuradora.
- De la importancia de la instalación.

El pretratamiento consta de los siguientes procesos:

- Separación de grandes sólidos.
- Desbaste para eliminación de las sustancias de tamaño excesivamente grueso.
- Tamizado, para eliminación de partículas en suspensión.
- Desarenador, para eliminación de arenas y sustancias sólidas densas en suspensión.
- Desengrasado, para eliminación de los distintos tipos de grasas y aceites presentes en el agua residual, así como de elementos flotantes.

En una planta depuradora no es necesaria la instalación de todas estas operaciones. Dependerá de las características antes descritas. Por ejemplo, para un agua residual industrial raramente será necesario un desbaste.

(http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento; Hernández, 2000.).

4.1.1. Separación de grandes sólidos (pozo de gruesos)

Cuando se prevé la existencia de sólidos de gran tamaño o de una gran cantidad de arenas en el agua bruta, se debe incluir en cabecera de instalación un sistema de separación de estos grandes sólidos, éste consiste en un pozo situado a la entrada del colector de la depuradora, de tronco piramidal invertido y paredes muy inclinadas, con el fin de concentrar los sólidos y las arenas decantadas en una zona específica donde se puedan extraer de una forma eficaz.

A este pozo se le llama *pozo de muy gruesos* (**Figura 4.1.1.(1)**), dicho pozo tiene una reja instalada, llamada *reja de muy gruesos*, que no es más que una serie de vigas de acero colocadas en vertical en la boca de entrada a la planta, que impiden la entrada de troncos o materiales demasiado grandes que romperían o atorarían la entrada de caudal en la planta.

La extracción de los residuos se realiza, generalmente, con cucharas anfibia o bivalvas de accionamiento electrohidráulico. Los residuos separados con esta operación se almacenan en contenedores para posteriormente transportarlos a un vertedero o llevarlos a incineración.

Este sistema consiste en la separación de estos grandes sólidos, para evitar que éstos dificulten la llegada del agua residual al resto de la planta, y la de limpiar el fondo del pozo para que no se produzca anaerobiosis, y consecuentemente malos olores. También se debe vaciar el contenedor de forma regular, si esto no es posible, se debe utilizar un contenedor tapado.

(http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento).

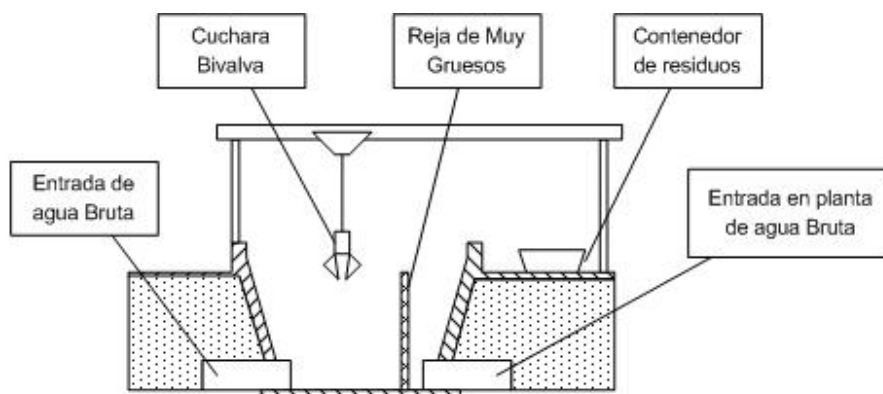


FIGURA 4.1.1.(1). CROQUIS DE POZO DE MUY GRUESOS.

Para la extracción de los residuos se instala un equipo denominado cuchara bivalva que es accionada mediante un motor electrohidráulico. Su manejo es generalmente manual, introduciéndolo el personal periódicamente en posición abierta hasta el fondo del pozo, donde se cierra para recoger los residuos. Posteriormente es elevada y tras dejar reposar un tiempo para eliminar el agua, dichos residuos son depositados en un contenedor de almacenamiento mediante un polipasto motorizado.

Fuente: http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento.



FIGURA 4.1.1.(2). POZO Y REJA DE MUY GRUESOS DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA.

Fuente: http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento.

4.1.2. Desbaste o cribado

El cribado, también llamado desbrozo, se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos.

El desbaste se realiza por medio de rejillas (rejas, mallas o cribas) (**Figura 4.1.2.(1)**), tiene como objeto retener o separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión, que arrastra consigo el agua residual.

De esta manera se consigue:

- Eludir posteriores depósitos.
- Evitar obstrucciones en canales, tuberías y conducciones en general.
- Interceptar los materiales que por sus excesivas dimensiones podrían dificultar el funcionamiento de las unidades posteriores (desarenador, medidor de caudal, decantadores, etcétera.).
- Aumentar la eficiencia de los tratamientos posteriores.



FIGURA 4.1.2.(1). REJA DE DESBASTE

Es un elemento que separa del agua residual los sólidos más gruesos mediante unas barras metálicas dispuestas en toda la sección de paso del colector de entrada. La finalidad fundamental que tiene es proteger el sistema de elevación de posibles atascos y averías o, en caso de no necesitarse el bombeo inicial, proteger los procesos posteriores ante la llegada brusca de sólidos muy voluminosos.

Fuente: <http://faz5.eup.us.es/master/formacion/edar/temario/cabecera-edar.htm>.

Puede decirse que, salvo excepciones, la instalación de rejillas de desbaste, es indispensable en cualquier depuradora, retirando al máximo las impurezas del agua para su eliminación directa, compactadas o no, en vertederos de residuos sólidos, o por incineración.

La elección del tipo de rejillas a colocar es una de las principales decisiones a tomar en el diseño de toda estación depuradora. Cuanto menor sea el tamaño de la depuradora, tanto más fiables deberán ser todos los equipos mecánicos.

Las rejillas pueden clasificarse, con arreglo a distintos criterios, en:

- Horizontales, verticales, inclinadas y curvas.
- Finas, medias y gruesas.
- Fijas o móviles.
- De limpieza automática, semiautomática o manual.

Por razones de mantenimiento y explotación es recomendable evitar la colocación de rejillas de limpieza manual. Hoy en día ya existen en el mercado para dimensiones de 500 habitantes equivalentes, rejillas provistas de sistema automático de limpieza y extracción de residuos a un contenedor que dan excelentes resultados.

Sí se recomienda no obstante la colocación de una reja de seguridad manual (separación entre barrotes 100 mm) para que en el caso de fallo del sistema de limpieza automática de la reja, no se produzcan inundaciones.

Aunque no existe un criterio único para la delimitación de los tipos de rejillas finas, medias o gruesas, se pueden considerar como rejillas finas aquellas en que la separación libre de aberturas es inferior a 1.5 cm.

La distancia entre barras, en las llamadas rejillas de separación media, oscila entre 1.5 y 5.0 cm. Son las más empleadas en la actualidad, puesto que tienen la mayor parte de las sustancias arrastradas que no pueden eliminarse por sedimentación.

El parámetro de control fundamental en la comprobación de rejillas es la velocidad de paso del agua entre los barrotes.

Las características de materias sólidas retenidas en las rejillas quedan reflejadas en la **Tabla 4.1.2.(1)**.

TABLA 4.1.2.(1). CARACTERÍSTICAS DE LAS MATERIAS RETENIDAS EN REJILLAS.

Características	%
Contenido de humedad	> 30
Contenido de materia orgánica	75 - 80
Contenido de materia inerte	20 - 25

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita". Thomson Learning, España. p. 77.

El destino de los residuos retenidos en las rejillas puede ser:

- Incorporación al sistema público de recogida de basuras.
 - Sólo en pequeñas instalaciones.
- Enterramiento.
 - Sólo en pequeñas instalaciones.
 - Zanjas de 1 m de profundidad.
 - Capas de residuos de 20 cm de espesor.

- Mineralización en 5 años.
- Incineración.
 - Secado previo.

(Hernández, 2000.).

4.1.2.1. Rejas de limpieza manual

Se utilizan en pequeñas o en grandes instalaciones para proteger bombas y tornillos en caso de que sea necesario utilizarlos para elevar el agua hasta la estación depuradora antes del desbaste. También se utilizan junto a las de limpieza automática, cuando éstas últimas están fuera de servicio. **Figura 4.1.2.1.(1).**



FIGURA 4.1.2.1.(1). REJAS DE LIMPIEZA MANUAL.

Se instalan generalmente con un ángulo de inclinación de 70° y se fabrican con barros de 10 mm de anchura por 50 mm de profundidad, con una longitud menor de tres metros para que pueda procederse a su limpieza a mano. Los sólidos recogidos suelen depositarse en una cesta de chapa perforada para separar los escurridos.

Fuente: <http://ar5.eup.us.es/master/formacion/edar/temario/cabecera-edar.htm>.

Las rejas están constituidas por barros rectos soldados a unas barras de separación situadas en la cara posterior, y su longitud no debe exceder aquella que permita

rastrillarla fácilmente con la mano. Van inclinados sobre la horizontal con ángulos entre 60° - 80° .

Encima de la reja se coloca una placa perforada por la que caerán los residuos rastrillados a un contenedor donde se almacenarán temporalmente hasta que se lleven al vertedero.

Con el objeto de proporcionar suficiente superficie de reja para la acumulación de basuras entre limpieza y limpieza, es necesario que la velocidad de aproximación del agua a la reja sea de unos 0.45 m / s a caudal medio. El área adicional necesaria para limitar la velocidad se puede obtener ensanchando el canal de la reja y colocando ésta con una inclinación más suave.

Conforme se acumulan basuras, obstruyendo parcialmente la reja, aumenta la pérdida de carga, sumergiendo nuevas zonas a través de las cuales pasará el agua.

(http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento).

4.1.2.2. Rejas de limpieza mecánica

Este tipo de rejas son fabricadas por varias empresas especializadas y se deben tener algunas consideraciones como las dimensiones del canal de la reja, el intervalo de variación en la profundidad del flujo en el canal, la separación entre barrotes y el método de control de la reja para decidir qué tipo de equipo es el que se va a instalar.

La principal ventaja de este tipo de reja, es que elimina los problemas de atascamientos y obstrucciones, además de que reducen notablemente el tiempo necesario para su mantenimiento. Una reja mecánica va normalmente protegida por una pre - reja de barrotes más espaciados ($50 - 100 \text{ mm}$), prevista generalmente, para limpieza manual, pero que deberá ser también automática en el caso de instalaciones importantes, o si el

agua bruta llega muy cargada de materias gruesas. De los distintos tipos de mecanismo, el más utilizado consiste en un peine móvil, que periódicamente barre la reja, extrayendo los sólidos retenidos para su evacuación. **Figura 4.1.2.2.(1).**



Figura 4.1.2.2.(1). Reja de limpieza mecánica.

Las rejas de limpieza mecánica o automática suelen ser rectas y pueden tener una altura de hasta 10 m de longitud. En función de la separación entre banotes tenemos rejas de gruesos, con luz de paso de 25 a 100mm, y rejas de finos, con luz de paso de 10 a 25 mm.

Fuente: <http://tar5.eup.us.es/master/formacion/edar/temario/cabecera-edar.htm>

Las rejas pueden ser curvas o rectas, y a su vez la limpieza puede ser por la cara anterior o por la cara posterior.

(http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento).

4.1.3. Tamices

Afinado el proceso de eliminación de residuos sólidos, se llega a la utilización de tamices con separación libre entre barras hasta de 0.2 mm, siendo los normalmente utilizados los de separación de 1 mm. Se busca igualmente un sistema sencillo autolimpiable, que permita sustituir en muchos casos los desbastes, la eliminación de arenas gruesas y hasta porcentajes del 30 % de grasas y sobrantes. El proceso es estrictamente físico. **(Figura 4.1.3.(1)).**



FIGURA 4.13.(1). TAMIZADO.

Con el objetivo de desarrollar la misma función pero eliminando partículas de menor tamaño, se tiende actualmente a la instalación de tamices, provistos de una malla fina. Además es típico la instalación de tamices en estaciones depuradoras de pequeñas poblaciones que se diseñan con procesos de aireación prolongada y sin decantación primaria.

Fuente: <http://ar5.eup.us.es/master/formacion/edar/temario/cabecera-edar.htm>.

Los tamices pueden clasificarse de la siguiente manera:

- *Tamices estáticos.*

El núcleo fundamental de la unidad es el conjunto de barras o hilos del tamiz la disposición de alambres transversales con curvas elípticas en el sentido del flujo proporciona una superficie relativamente no atascable con alto poder de filtrabilidad.

Los tamices están hechos de acero inoxidable y las aberturas libres de 0.2 a 1.5 mm satisfacen la mayoría de las necesidades del tamizado. Para fines especiales se pueden utilizar aleaciones inoxidables resistentes al desgaste y más duras.

- *Macrotamices rotatorios*

Se utilizan con aguas residuales poco cargadas. Consiste en un tambor cilíndrico de eje horizontal, en caso de que el nivel del agua varíe relativamente poco, o como una banda rotatoria sobre cadenas sin fin, cuando los niveles del agua sufren grandes variaciones.

El tamiz va a estar parcialmente sumergido. El agua entra por el interior del tambor y sale al exterior quedando retenidos en las paredes internas del tamiz los residuos a eliminar. El tambor va rotando. En la parte superior del tambor los residuos van siendo eliminados mediante unos chorros de agua que los hacen salir al exterior. El paso de malla está entre 0.3 y 3.0 mm. La pérdida de carga es pequeña entre 0.2 – 0.5 m.

- *Tamices rotatorios*

Los tamices rotatorios están constituidos por una reja cilíndrica de eje horizontal con barrotos de sección trapezoidal, la cual gira lentamente. El agua cae por arriba entrando en el interior del tamiz, en tanto que la suciedad queda retenida en el exterior y son evacuadas a un contenedor provisional por medio de un rascador fijo. El paso de malla es de 0.2 - 2.0 mm. Las pérdidas de carga son elevadas, del orden de 2 m., lo que obliga la mayoría de las veces a un bombeo suplementario. Tienen el problema añadido de ser sensibles al atascamiento por grasas coaguladas.

(http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento; Hernández, 2000.).

Las dimensiones y características de los tamices rotativos se incluyen en las **Tablas 4.1.3.(2) y 4.1.3.(3)**.

TABLA 4.1.3.(2). CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES DE LOS TAMICES ROTATIVOS.

Tipo	Diámetro Cilindro	Longitud Cilindro	Motor kW
6203	628	300	0.5
6206	628	600	0.5
6209	628	900	0.5
6212	628	1200	0.5
6218	628	1800	0.5
9030	914	3000	1.5

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 80.

TABLA 4.1.3.(3). DIMENSIONES DE TAMICES ESTÁTICOS.

Capacidad (m ³ / h)				Diámetro	Conductos (mm).
Separación libre entre barras (mm)					
0.50	0.75	1.00	1.50	Entrada	Salida
5 – 20	6 – 23	7 – 26	10 – 33	100	100
10 – 40	12 – 47	13 – 55	20 – 65	100	200
15 – 80	20 – 90	26 – 105	35 – 135	150	200
30 - 120	35 - 140	40 - 160	50 - 200	200	300

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 81.

4.1.4. Desarenado

La función del desarenado es separar los elementos pesados en suspensión (arenas, arcillas, limos), que lleva el agua residual y que perjudica el tratamiento posterior, generando sobrecargas en fangos, depósitos en las conducciones hidráulicas, tuberías y canales, abrasión en rodets de bombas y equipos, y disminuyendo la capacidad hidráulica. La retirada de estos sólidos se realiza en depósitos, donde se remansa el agua, se reduce la velocidad del agua, aumentando la sección de paso. Las partículas en suspensión, debido al mayor peso, se depositan en el fondo del depósito denominado desarenador.

Como regla general, para todas las poblaciones equivalentes superiores a 500 hab. Deberá colocarse un desarenador incluso en los sistemas de alcantarillado separativos.

Para valores inferiores a 100 hab. equivalentes bastará con un pequeño escalón o pozo en el canal inmediatamente detrás de las rejas, siempre que dicho canal sea fácilmente limpiable y esté duplicado para facilitar la limpieza.

En cuanto a las posibilidades de evacuación de arena los sistemas que pueden utilizarse son:

- Bomba sumergible que purgue a un contenedor que haga de decantador estático y en que el agua sobrenadante vuelva al inicio.
- Bombas Mammut.

En ocasiones es también interesante el empleo de un clarificador de arenas.

Existen varias clasificaciones de los desarenadores atendiendo a características, a veces no totalmente disyuntivas, y con denominaciones más o menos confusas. Una de las menos equivocada podría ser la siguiente:

- a) Desarenadores de flujo horizontal.
- b) Desarenadores de flujo vertical.
- c) Desarenadores de flujo inducido.

Experiencias realizadas con distintos tamaños de arena, a distintas velocidades ascensionales, para determinar los porcentajes de pesos de arenas arrastrados por la corriente, han dado los siguientes resultados.

TABLA 4.1.4.(1). DECANTABILIDAD DE LAS ARENAS.

Velocidad del agua m / s	Gruesos de granos y % decantado						
	Más de 2 mm %	De 1 a 2 mm %	De 0.5 a 1 mm %	De 0.25 a 0.5 %	De 0.2 a 0.25 %	De 0.15 a 2.0 mm %	Menores de 0.15 %
0.01	0	0	0	0	0	3.3	17.3
0.02	0	0	0	0	8.5	21.7	92.7
0.03	0	0	0	24.9	59.0	98.0	100.0
0.04	0	0	0	34.4	64.0	100.0	100.0
0.05	0	0	0	37.6	68.0	100.0	100.0
0.06	0	0	0	45.0	72.0	100.0	100.0
0.07	0	0	Indicios	100.0	100.0	100.0	100.0
0.08	0	0	5	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 84.

Se ha deducido, también experimentalmente, que la mayor velocidad de caída de la materia orgánica es de 3 a 4 cm / seg. Por consiguiente, si se fija la velocidad ascendente de un desarenador de tipo vertical en 6 cm / seg. se puede asegurar que no habrá depósito de materia orgánica mientras que los granos de arena de 0.25 a 0.5 mm quedarán retenidos en su mayor parte.

Dos técnicas son la base de los procedimientos utilizados en la separación de arenas: La separación natural por decantación en canales o depósitos apropiados, y la separación dinámica con procesos utilizando inyección de aire o efectos de separación centrifuga. La separación natural requiere una constancia absoluta en el paso del agua. (Hernández, 2000.).

4.1.4.1. Tipos de desarenadores

Canales desarenadores

- De flujo variable: Se usan en pequeñas instalaciones. La arena se extrae manualmente de un canal longitudinal que tiene una capacidad de almacenamiento de 4 - 5 días.
- De flujo constante: Mantienen una velocidad constante de flujo de 0.3 m / s aproximadamente, de forma independiente al caudal que circule por ellos. Las variaciones de altura en el canal proporcionan una medida de dicho caudal. El canal más utilizado es el Canal Parshall: Es un canal simple de paredes paralelas, que sufre un estrechamiento hacia la mitad; si aumenta el caudal aumenta la altura de la lámina de agua, y viceversa. **(Figura 4.1.4.1.(1)).**



FIGURA 4.1.4.1.(1) DESARENADO.

El desarenado tiene como objetivo eliminar partículas más pesadas que el agua, que no se hayan quedado retenidas en el desbaste, y que tienen un tamaño superior a 200 micras, sobre todo arenas pero también otras sustancias como cáscaras, semillas, etc. Con este proceso se consiguen proteger los equipos de procesos posteriores ante la abrasión, atascos y sobrecargas.

Fuente: <http://tar5.eup.us.es/master/formacion/edar/temario/cabecera-edar.htm>

Desarenadores rectangulares aireados

En este tipo de desarenadores se inyecta una cantidad de aire que provoca un movimiento helicoidal del líquido y crea una velocidad de barrido de fondo constante, perpendicular a la velocidad de paso, la cual puede variar sin que se produzca ningún inconveniente. Además se favorece la separación de las partículas orgánicas que puedan quedar adheridas a las partículas de arena.

Este tipo de desarenador ofrece una serie de ventajas frente a otros tipos:

- El agua se airea y por tanto, disminuye la producción de olores.
- Se generan rendimientos constantes con lo que se puede variar el caudal sin disminución del rendimiento.
- Pérdidas de carga muy pequeñas.
- Con un adecuado caudal de aire se obtienen arenas muy limpias de materia orgánica.
- Puede ser usado también como desengrasador cuando el contenido en grasas del agua bruta no es muy elevado.

4.1.4.2. Estructuración del cálculo de un desarenador

- a) Datos base.
 - Caudal de entrada al desarenador.
 - Diámetro de la arena que se quiere eliminar.
 - Temperatura del agua.
- b) Determinación de las velocidades (según tablas).
 - Máxima v_H para evitar arrastres.
 - V_s de caída en aguas de reposo.
- c) Sección transversal.

Se considera por condiciones de pared, la formación de líneas de corriente y que la relación entre la anchura de la sección (a) y la altura útil (h), debe estar comprendida entre:

$$1 < (a / h) < 5$$

d) Tiempo de retención.

- Para simples desarenadores el tiempo de retención puede estar entre 2.5 y 5 minutos.

En la y práctica y con suficiente aproximación se puede tomar como base los datos de la **Tabla 4.1.4.2.(1)**, válidos en sedimentación libre, para partículas de arena de densidad 2.64.

TABLA 4.1.4.2.(1). DATOS DE SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS.

D cm	0.005	0.010	0.020	0.030	0.040	0.050	0.10	0.20	0.30	0.50	1.00
V_c cm / s	0.2	0.7	2.3	4.0	5.6	7.2	15	27	35	47	74
$V_{c'}$ cm / s	0	0.5	1.7	3.0	4.0	5.0	11	21	26	33	-
V_H cm / s	15	20	27	32	38	42	60	83	100	130	190

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 86.

en el que:

d = diámetro de la partícula de arena.

V_c = velocidad de sedimentación, para un fluido de velocidad horizontal nula.

$V_{c'}$ = velocidad de sedimentación, para un fluido de velocidad horizontal V_H .

V_H = velocidad horizontal crítica de arrastre de la partícula depositada.

(Hernández, 2000.).

Según KALBSKOFF – IMHOFF las velocidades ascensionales aceptables expresadas en (m / h), quedan reflejadas en la **Tabla 4.1.4.2.(2)**.

TABLA 4.1.4.2.(2). VELOCIDADES ASCENSIONALES EN DESARENADORES.

Diámetro (d) en mm.	Rendimiento sedimentación.		
	100 %	90%	85 %
0.16	12	16	20
0.20	17	28	36
0.25	27	45	58

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 87.

4.1.5. Desengrasado – desaceitado

El objetivo en este paso es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores.

Son importantes los volúmenes de grasa que se vierten en los colectores, procedentes de las cocheras (desprovistas generalmente de decantadores de grasas antes de su acometida a la red de alcantarillado), de los hogares y calefactores, de lavaderos, mataderos y de la escorrentía superficial en colectores unitarios.

Las cantidades de grasas incorporadas en aguas residuales son muy variables, pero, para aguas urbanas, pueden considerarse unas cifras de 25 g por habitante y día, o bien el 28 % de los sólidos en suspensión.

El desaceitado consiste en una separación líquido - líquido, mientras que el desengrase es una separación sólido - líquido. En ambos casos se eliminan mediante insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad.

Las grasas han creado muchos problemas y la técnica de la depuración de aguas residuales, especialmente en los elementos y procesos siguientes:

- En rejillas finas causan obstrucciones que aumentan los gastos de conservación
- En los decantadores forman una capa especial que dificulta la sedimentación al atraer hacia la superficie pequeñas partículas de materia orgánica

- En la depuración por el sistema de fangos activados dificultan la correcta aireación disminuyendo el coeficiente de transferencia 55 – 70 % al subir las grasas de 0 a 70 mg / l y participan en la producción del fenómeno de *bulking*.
- Perturban el proceso de digestión de lodos.
- La DQO se incrementa en un 20 30 %, por las grasas contenidas en los vertidos.

El sistema más comúnmente empleado para la eliminación de grasas consta de 2 fases:

- a) La emulsión de las grasas en el arenero mediante aireación, permitiendo se ascenso a la superficie, y su subsecuente retirada.

La velocidad ascensional de las burbujas de grasa puede estimarse entre 3 y 4 mm / s.

- b) Separación de grasas residuales en las balsas de decantación, retirando éstas por medio de raquetas superficiales.

Se podría hacer esta separación en los decantadores primarios si es que están provistos de unas rasquetas superficiales de barrido, pero cuando el volumen de grasa es importante, estas rasquetas son insuficientes y la recogida es deficitaria. **Figura 4.1.5.(1).**



FIGURA 4.1.5.(1). DESENGRASADO.

Sistema que tiene por finalidad la eliminación de grasas, aceites, espumas y materias flotantes más ligeras que el agua para evitar interferencias en procesos posteriores. De esta forma se evita la sobrecarga de las siguientes unidades de tratamiento y la aparición de organismos filamentosos en los sistemas biológicos.

Fuente: <http://ta5.eup.us.es/master/formacion/edar/temario/cabecera-edar.htm>

Si se hacen desengrasado y desarenado juntos, es decir, en un mismo recinto, es necesario crear una zona de tranquilización donde las grasas flotan y se acumulan en la superficie, evacuándose por vertedero o por barrido superficial, y se sedimentan las arenas en el fondo; éstas son eliminadas por uno de los métodos desarrollados en el apartado anterior.

Esta última alternativa presenta las siguientes ventajas:

- Las velocidades de sedimentación de las arenas y de flotación de las partículas de grasa no se modifican prácticamente por realizar el desarenado y la desemeulsión de grasas en el mismo depósito. Ello es lógico si se considera la diferencia de densidades entre las partículas de arena y de grasa.
- El aire comprimido añadido para la desemeulsión ayuda a impedir la sedimentación de las partículas de fango poco densas por lo que la arena depositada en el fondo del desarenador es más limpia.
- Las partículas de arena, al sedimentar, deceleran las velocidades ascensionales de las partículas de grasa. Disponen así estas de más tiempo para ponerse en contacto entre sí durante su recorrido hacia la superficie, aumentándose el rendimiento de la flotación de grasas.

Los desengrasadores separados del desarenado son aconsejables cuando se busca una mayor calidad del agua o cuando el agua proviene de ciertos tipos de industrias por ejemplo, petroquímicas y refinerías de petróleo producen gran cantidad de aceites, los mataderos producen gran cantidad de grasas, etcétera.

Las grasas y flotantes extraídos de los desengrasadores unidos a los flotantes extraídos en la decantación primaria suelen tratarse posteriormente en un concentrador de grasas donde se desprenden de su contenido en agua. Se pueden deshacer de las grasas y espumas en una digestión anaerobia junto a los fangos ya que son en su mayor parte

residuos orgánicos. Pero esto no es recomendable, ya que presenta el inconveniente de favorecer la formación de costras en el digestor.

Las grasas concentradas se almacenan en contenedores especiales y posteriormente pasan a vertedero. También se podrían incinerar en caso de existiese en la planta un horno de incineración de fangos o para tratamiento de fangos.

(http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento; Hernández, 2000.).

4.2. Tratamiento primario

El objetivo principal del tratamiento primario es la reducción de los sólidos en suspensión del agua residual haciendo sedimentar los materiales suspendidos usando tratamientos físicos o físico / químicos. Prácticamente este nivel de tratamiento se lleva a cabo con maquinaria, por lo que se le conoce también como tratamiento mecánico

Dentro de los sólidos en suspensión pueden distinguirse:

- Los sólidos sedimentables: son los que sedimentan al dejar el agua residual en condiciones de reposo durante una hora, este tiempo también depende del tamaño del sedimentador
- Los sólidos flotantes: definibles por contraposición a los sedimentables.
- Los sólidos coloidales (tamaño entre 3 - 10 micras).

Como, en general, parte de los SS están constituidos por materia orgánica en consecuencia del tratamiento primario suele ser la reducción de la DBO.

El grado de reducción de estos índices de contaminación depende del proceso utilizado y de las características del agua residual.

Aunque existen múltiples procesos que se pueden considerar incluidos dentro del tratamiento primario (filtración, tamizado, ciertos lagunajes, fosas sépticas, tanques Imhoff, etcétera), los principales procesos son los que a continuación se mencionan.

- Remoción de sólidos.
- Remoción de arena.
- Tanque de sedimentación, también llamada decantación primaria
- Flotación
- Proceso mixto (decantación-flotación)
- Procesos complementarios de mejora: floculación y coagulación (proceso físico químico).

http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento).

4.2.1. Decantación primaria

El objetivo fundamental de la decantación primaria es la eliminación de los sólidos sedimentables. La mayor parte de las sustancias en suspensión en las aguas residuales no pueden retenerse, por razón de su finura o densidad, en las rejillas, desarenadores y cámaras de grasa, ni tampoco pueden separarse mediante flotación por ser más pesadas que el agua.

La reducción de la velocidad de corriente por debajo de un determinado valor, (función de la eficacia deseada en la decantación), es el fundamento de la eliminación de un 50 a 60 % de las materias en suspensión del influente. Al depositarse estas partículas de fango, arrastran en su caída una cierta cantidad de bacterias, con lo que se alcanza también, en este tipo de tratamiento, una reducción de la DBO y una cierta depuración biológica.

Sirven como decantadores todos los depósitos que sean atravesados con velocidad suficientemente lenta y de forma adecuada por el agua a depurar. La exigencia, sin embargo, de separar fácil y rápidamente las partículas sedimentadas de las aguas clarificadas ha concluido ha conducido a ciertas formas especiales. **Figura 4.2.1.(1)**



FIGURA 4.2.1.(1). DECANTACIÓN PRIMARIA.

En los tanques circulares, el sistema de flujo es radial (a diferencia del flujo horizontal que se da en los tanques rectangulares). Para conseguir este sistema de flujo radial, el agua residual a decantar se introduce por el centro o bien por la periferia del tanque.

Fuente: <http://tar5.eup.us.es/master/formacion/edar/temario/cabecera-edar.htm>.

Los elementos fundamentales de todo decantador son:

- a) *Entrada del afluente*: Deben proyectarse en forma tal que la corriente de alimentación se difunda homogéneamente por todo el tanque desde el primer momento.
- b) *Deflectores*: Suelen colocarse a la entrada y salida de la balsa sirviendo, el primero, para conseguir una buena repartición del caudal afluente, y el segundo para retención de las sustancias flotantes, grasas y espumas.
- c) *Vertedero de salida*: Su nivelación es muy importante para el funcionamiento correcto de la clarificación. Por otro lado, para no provocar levantamiento de los fangos sedimentados, la relación del caudal afluente a la longitud total de vertidos debe ser menor de $10 - 12 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}$.
- d) *Características geométricas*: Las relaciones entre ellas deben ser las adecuadas para la sedimentación de los tipos de partículas previstas. Su forma puede ser rectángulas, cuadrada o circular.

La sedimentación puede ser:

- De flujo horizontal.
- De flujo vertical.

Para el dimensionado, de acuerdo a los criterios *de experiencia*, basta en principio seleccionar una carga hidráulica y un tiempo de retención adecuados para obtener el rendimiento que se desee.

Carga Hidráulica,

$$C_H = Q / A$$

Tiempo de retención,

$$t_r = V / Q$$

Siendo:

C_H = Carga hidráulica ($m^3 / m^2 \cdot h$).

Q = Caudal circulante a depurar (m^3 / h).

A = Superficie horizontal (m^2).

t_r = tiempo de retención (h).

V = Volumen del tanque de decantación (m^3).

(Hernández, 2000.).

4.2.1.1. Decantadores circulares

En los decantadores circulares el agua entra por el centro del decantador y es recogida en toda la periferia del mismo. Frente a este sistema se ha desarrollado el de alimentación periférica con salida del agua bien central o bien periférica. Se evita las perturbaciones

producidas por la disipación de la energía del agua en la entrada mediante la instalación de deflectores o corona de reparto en los circulares.

La salida habitual del agua es a través de un vertedero triangular, que aunque no es el óptimo es de mucha utilidad al considerar las amplias variaciones del caudal

La evacuación de los fangos puede contener tres pasos: acumulación, almacenamiento y extracción.

La acumulación de fangos en el decantador puede realizarse de dos formas básicas: por gravedad o mediante equipos mecánicos. La primera se realiza mediante el fondo inclinado en forma de tolva del decantador, pero cuando las dimensiones de éste son excesivamente grandes hay que recurrir a equipos mecánicos que acumulen el fango sedimentado, por arrastre, en uno o varios puntos fijos de extracción, mediante rasquetas que barren la solera del decantador, o bien mediante la extracción de los fangos por succión (bien por depresión hidráulica o por vacío) sin necesidad de acumulación, pero esta práctica es principalmente usada en la decantación secundaria del proceso de fangos activos.

El equipo de rasquetas puede adoptar principalmente dos alternativas diferenciadas por su sistema de accionamiento: central o periférico (un puente radial al que van unidas las rasquetas y que gira a través de una rueda tractora accionada por un moto - reductor y que rueda por la coronación del muro periférico del decantador). A su vez, la estructura de las rasquetas puede ser variada, siendo la básica la de espina de pez, consistente en varias rasquetas equidistantes formando un ángulo constante con el radio del decantador, y que arrastran una partícula desde la periferia al centro del decantador, haciendo pasar la partícula de una rasqueta a otra.

El almacenamiento se realiza normalmente en pocetas ubicadas en el fondo del decantador, situadas en el centro del decantador circular en el que a veces se coloca un

sistema de rasquetas de paletas de espesamiento, en esta poceta, para aumentar la concentración del fango antes de su extracción.

La extracción o purga del fango debe ser periódica, por lo que el automatismo consiste en la temporización regular de los tiempos de funcionamiento y parada del sistema de extracción (nunca es aconsejable la extracción manual, ni aún en las pequeñas depuradoras). Éste se materializa bien en válvulas automáticas o bien en bombas especiales para fangos.

La eliminación de flotantes se realiza disponiendo delante del vertedero de salida una chapa deflectora que evita la salida de los flotantes. Para su acumulación los sistemas de rasquetas disponen generalmente de barredores superficiales que los arrastran hasta el punto de extracción, consistente, en una tolva que a veces dispone de una rampa por donde sube parte de la barredora.

(http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento).

4.2.1.2. Decantadores rectangulares

En los decantadores rectangulares la alimentación es generalmente por uno de los lados más estrechos, saliendo el agua por el lado opuesto, también a través de un vertedero triangular.

La acumulación de fangos puede ser por gravedad o por rasquetas. Existen dos tipos básicos de equipos de rasquetas para la acumulación de fangos. En ambos casos, las rasquetas recorren el decantador a lo largo del mismo ocupando cada rasqueta todo su anchura.

Una vez que las rasquetas han barrido el fondo, se elevan y, recorriendo el largo del decantador en dirección opuesta, vuelven al punto de partida, aprovechando este movimiento para la acumulación de flotantes.

Las cadenas están unidas a un mecanismo que constituyen el sistema tractor junto con el moto - reductor de accionamiento.

El otro equipo consiste en un puente a lo ancho del decantador del que cuelga el sistema de rasquetas. El movimiento que sigue es de vaivén a lo largo del decantador, lo que obliga a la elevación de las rasquetas en el movimiento de retroceso, de estar el punto de extracción en un sólo lado del decantador.

Las pocetas de almacenamiento de fangos se sitúan a lo ancho del decantador rectangular en el lado de entrada del agua.

La extracción de flotantes se realiza con tubos acanalados giratorios.

A partir de datos estadísticos de explotación de múltiples depuradoras se ha llegado a la conclusión que son los decantadores circulares los que consiguen mejores rendimientos frente a los rectangulares. Pero teniendo en cuenta la gran cantidad de factores que afectan al funcionamiento de la decantación, parece que no se puede afirmar científicamente. Por otro lado, desde un punto de vista hidráulico, el decantador rectangular tendría mejor funcionamiento. Sin embargo, mejor funcionamiento hidráulico, no implica un mejor rendimiento necesariamente.

(http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento).

4.2.1.3. Rendimientos alcanzables en los decantadores primarios

El disponer o no de decantación primaria no depende del tamaño de la planta, sino del tipo de tratamiento biológico, dándose la paradoja, de que es fácil encontrar numerosas diferencias de plantas de baja carga y de alta carga sin decantación primaria pero no así

en el proceso denominado convencional. La decantación primaria es siempre obligada cuando posteriormente se vayan a aplicar las aguas al terreno o se utiliza un sistema biológico de lechos bacterianos. En los restantes casos, la omisión de la decantación primaria presenta dos vertientes:

Ventajas:

- 1) Mayor simplicidad de operación de la planta.
- 2) Homogeneidad en la calidad del fango.
- 3) Remoción del fango en un solo punto.
- 4) Eliminación de malos olores al entrar el agua directamente al tanque de aireación, si las aguas llegan en condiciones sépticas.
- 5) Mejoría de la sedimentabilidad del fango activado.
- 6) Aumento de la capacidad de absorción de puntos de carga debido al mayor contenido de fangos en el tanque de activación.
- 7) Mejora los sistemas con largos periodos de aireación, con digestión aerobia principalmente, en climas templados y cálidos.

Desventajas:

- 1) Mayor consumo energético en el proceso biológico por fangos activados.
- 2) Menor producción de gas en la planta.
- 3) Peligro de formación de sedimentaciones en el depósito de aireación, sino hay una instalación de desarenado bien dimensionada, de formación de fangos flotantes en el decantador secundario, sino hay una buena eliminación de grasas a la entrada de la planta y, quizás una capacidad de espesamiento más reducida del fango mezcla en algunos casos.
- 4) Se elimina un elemento de regulación hidráulica y de carga de depuradora, frente a caudales punta y caudales de lluvia en los sistemas unitarios.
- 5) Se puede reducir la capacidad de espesado de los lodos que se llevan posteriormente a digestión.

(Hernández, 2000.).

4.2.1.4. Parámetros de diseño de la decantación

Los parámetros de diseño de la sedimentación de partículas floculantes son dos:

- Velocidad ascensional o carga superficial: También llamado *velocidad descendional*, es el caudal de fluido dividido por la superficie del depósito de sedimentación. Éste será el único parámetro de la sedimentación de partículas discretas.
- Tiempo de retención: Volumen del depósito dividido por el caudal. A veces, en vez de este parámetro se toma la altura del depósito al ser ambos interdependientes.

Además de estos parámetros existen ciertas características del agua residual que afectan al rendimiento del proceso. Así, en la decantación primaria los factores básicos son la concentración de SS y las características floculantes de los mismos. Así, por ejemplo el rendimiento de reducción aumentará al aumentar la concentración de SS.

(http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Tratamiento_primario).

En el dimensionado de decantadores hay que atender especialmente a los siguientes apartados:

Superficie de decantación

Relación entre parámetros:

$$S = Q / V$$

siendo:

S = Superficie de decantación (m²).

Q = Caudal a tratar (m³ / h).

V = Velocidad ascensional (m / h).

(Hernández, 2000.).

Los valores de las velocidades ascensionales pueden obtenerse de las **Tablas 4.2.1.4.(1)** y **4.2.1.4.(2)**.

TABLA 4.2.1.4.(1). VELOCIDADES ASCENSIONALES A CAUDAL MEDIO.

Decantación primaria	Velocidades a caudal medio		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Decantadores circulares	1.00 m / h	1.50 m / h	2.0 m / h
Decantadores rectangulares	0.80 m / h	1.30 m / h	1.80 m / h

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 96.

TABLA 4.2.1.4.(2). VELOCIDADES ASCENSIONALES A CAUDAL MÁXIMO.

Decantación primaria	Velocidades a caudal medio		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Decantadores circulares	2.0 m / h	2.50 m / h	3.0 m / h
Decantadores rectangulares	1.80 m / h	2.20 m / h	2.60 m / h

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 96.

Cuando la decantación primaria se usa como tratamiento único deben disminuirse las cifras anteriores en un 30 %.

Volumen de decantación primaria

Relación entre parámetros

$$V = Q \cdot T$$

siendo:

V = Volumen de decantación (m³).

Q = Caudal a tratar (m³ / h).

tr = Tiempo de retención (h).

(Hernández, 2000.).

Los valores del tiempo de retención pueden obtenerse de la **Tabla 4.2.1.4.(3)**.

TABLA 4.2.1.4.(3). TIEMPO DE RETENCIÓN.

Decantación primaria	Velocidades a caudal medio		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Tiempo de retención para caudal medio	1.50 h	2.00 h	3.00 h
Tiempo de retención para caudal máximo	1.00 h	1.50 h	2.00 h

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 97.

Cuando la decantación primaria se usa como tratamiento único deben aumentarse las cifras anteriores en un 30 %.

Relaciones dimensionales

En decantadores circulares de flujo vertical:

siendo:

h = altura del decantador.

Θ = diámetro del decantador.

Puede tomarse:

$\Theta < 40$ m

$h < 3$ m

En decantadores rectangulares de flujo horizontal:

siendo:

L = longitud del decantador.

h = altura útil del decantador.

b = ancho del decantador.

Pueden usarse las siguientes relaciones:

TABLA 4.2.1.5.(4). DIMENSIONES EN DECANTADORES RECTANGULARES.

Decantación primaria	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
L	5	-	90
L / h	5	15	40
L / b	1.5	4.5	7.5
h	1.5	3	3

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 98.

Dimensiones de zona de entrada

Decantadores circulares.

En decantadores circulares de flujo vertical, siendo para el cilindro central de entrada:

Θ_1 = diámetro del cilindro.

h_1 = altura del cilindro desde el borde superior del decantador.

Θ = diámetro del decantador.

h = altura del decantador.

Pueden tomarse las relaciones de la **Tabla 4.2.1.5.(5)**.

TABLA 4.2.1.5.(5). DIMENSIONES EN DECANTADORES CIRCULARES.

	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Θ_1 / Θ	0.05	0.1	0.2
h_1 / h	0.25	0.40	0.65

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 99.

Vertedero de salida

Relación entre parámetros:

$$L = Q / V$$

siendo:

L = longitud necesaria de vertedero (m).

Q = caudal a tratar (m^3 / h).

V = Carga de salida por el vertedero ($m^3 / h / m$).

Se tiene los valores de la **Tabla 4.2.1.5.(6)**.

TABLA 4.2.1.5.(6). CARGA DE SALIDA EN VERTEDERO.

Decantadores primarios	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Decantadores circulares	5	9.5	18
Decantadores rectangulares	5	10	26
Decantadores secundarios			
Circulares	2	5	10
Rectangulares	2	6.5	12
Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 99.			

4.2.2. Flotación

La flotación es un proceso que se utiliza para separar partículas líquidas y sólidas del agua residual. Los líquidos y sólidos con una densidad menor que la del agua flotan en ésta y, en consecuencia, se pueden recoger superficialmente. Los sólidos se separan introduciendo gas (normalmente burbujas de aire) en el agua; las burbujas se adhieren a las partículas sólidas en suspensión haciendo que se eleven a la superficie; de esta forma se pueden eliminar sólidos en suspensión con una densidad mayor que la del líquido.

Este proceso favorece también la flotación de los líquidos de menor densidad que el agua. Las partículas muy pequeñas, que por sedimentación tardarían mucho tiempo en depositarse, pueden ser eliminadas fácilmente por flotación.

Los tanques de flotación pueden ser individuales o ir combinados con los tanques de decantación primaria.

La fase líquida se somete a un proceso de presurización para alcanzar una presión de funcionamiento que oscila entre 2 y 4 atm., en presencia del suficiente aire para conseguir la saturación en aire del agua. Luego, este líquido saturado de aire se somete a un proceso de despresurización llevándolo hasta la presión atmosférica por paso a través de una válvula reductora de presión. En esta situación, y debido a la despresurización se

forman pequeñas burbujas de aire que se desprenden de la solución. Los sólidos en suspensión o las partículas líquidas (por ejemplo: aceites o petróleo) flotan, debido a que estas pequeñas burbujas, asociándose a los mismos, les obligan a elevarse hacia la superficie. Los sólidos en suspensión concentrados pueden separarse de la superficie por sistemas mecánicos. El líquido clarificado puede separarse cerca del fondo y parte del mismo puede reciclarse.

En el campo de los tratamientos de aguas residuales, la flotación se usa para los siguientes objetivos:

- 1) Separación de grasas, aceites, fibras, y otros sólidos de baja densidad de las aguas residuales.
- 2) Espesado de lodos procedentes de los procesos de lodos activos.
- 3) El espesamiento de los lodos floculados químicamente resultantes de los tratamientos de coagulación química. Una superior calidad de los efluentes (efluentes conteniendo porcentajes menores de sólidos en suspensión), y una economía de energía pueden conseguirse con sistemas por flotación con reciclaje.

Los distintos tipos de procesos que existen, son:

- Flotación por aire disuelto de flujo total: Se sobresatura todo el caudal.
- Flotación por aire disuelto de flujo parcial: Se sobresatura una parte del caudal.
- Flotación por aire disuelto de flujo recirculado: Se sobresatura agua ya tratada por el proceso (efluente).

Los componentes básicos de un sistema de flotación son:

- 1) Bomba de presurización
- 2) Sistema para inyección de aire
- 3) Tanque de retención (para conseguir un contacto aire - líquido)
- 4) Válvula reductora de presión
- 5) Tanque de flotación

(Romero, 1999; Ramalho 1993.).

4.2.2.1. Comparación de la flotación con la sedimentación por gravedad

Los costos de inversión son inferiores para las unidades de flotación con respecto a las de sedimentación por gravedad. Por otro lado, los costes de operación son mayores en aquéllas debido, fundamentalmente, al coste de compresión del aire. Para el caso de lodos activos, los factores de carga permitidos para la flotación son aproximadamente el doble de los permitidos en sedimentación por gravedad, lo que da como consecuencia un costo inferior de instalación. Esto ocurre porque la velocidad del lodo activo por flotación es mayor que la velocidad de sedimentación. En cuanto a la calidad del efluente, ésta es mayor en las unidades de flotación, en cuyo caso la separación de sólidos puede llegar a ser, de una forma normal, de un 95 % o mayor. El resultado de la flotación puede ser mejorado por la adición de coagulantes. Los coagulantes utilizados normalmente son: alúmina, cloruro férrico y polielectrolitos. (Ramalho 1993.).

4.2.3. Neutralización

El tratamiento de neutralización se utiliza normalmente en los siguientes casos que se presentan en la depuración de aguas residuales:

1. Antes de la descarga de aguas residuales en un medio receptor. La justificación para la neutralización es que la vida acuática es muy sensible a variaciones de pH fuera de un intervalo cercano a $\text{pH} = 7$.

2. Antes de la descarga de aguas residuales industriales al alcantarillado municipal. La especificación del pH de las descargas industriales en las alcantarillas se hace de forma frecuente. Es más económico hacer una neutralización de las corrientes de aguas residuales industriales antes de descargar en el alcantarillado municipal, que intentara hacer una neutralización de los mayores volúmenes de las aguas residuales mixtas combinadas domesticas e industriales.
3. Antes del tratamiento químico o biológico. Para los tratamientos biológicos, el pH del sistema se mantiene en un intervalo comprendido entre 6.5 y 8.5 para asegurar una actividad biológica óptima. El proceso biológico en sí misma puede conseguir una neutralización, y en cualquier caso tiene una capacidad tampón como resultado de la producción de CO₂, que da lugar a la formación de carbonatos y bicarbonatos en la solución. El grado de preneutralización requerido para el tratamiento biológico depende de 2 factores.
 - a) La alcalinidad o acidez presente en el agua residual.
 - b) Los mg / l de DBO que deben eliminarse en el tratamiento biológico. Este último aspecto está muy relacionado con la producción de CO₂ que puede dar lugar a una pequeña neutralización de los residuos alcalinos.

Los métodos para neutralización de aguas residuales incluyen *homogeneización*, que consiste en mezclar las corrientes, algunas de las cuales son ácidas y otras alcalinas, disponibles en la planta; y *métodos de control directo de pH*, que consisten en la adición de ácidos (o bases) para neutralizar las corrientes alcalinas o ácidas. (Ramalho 1993.).

4.2.3.1. Homogeneización

Cuando se va a utilizar para conseguir la neutralización, la homogeneización significa la mezcla de las corrientes de aguas residuales, ácidas y alcalinas en un tanque de

homogeneización. La homogeneización se utiliza a menudo para otros objetivos aparte de la neutralización, como son: aminorar las variaciones de ciertas corrientes de aguas residuales, intentando conseguir una corriente mezclada, con un caudal relativamente constante, que sea el que llegue a la planta de tratamiento; y aminorar las variaciones de la DBO de afluente a los sistemas de tratamiento.

Con este propósito se utilizan tanques de homogeneización de nivel constante o variable.

1. Estanques de homogeneización de nivel constante: el nivel del depósito de homogeneización se mantiene constante. En consecuencia si el caudal de entrada varía, varía el caudal de salida. Por lo tanto, no se trata de una técnica de homogeneización de caudal, sino simplemente un método de neutralización. Si las fluctuaciones en el caudal de entrada son muy grandes el efluente que proviene de un sistema de homogeneización de nivel constante puede llevarse a otro depósito de homogeneización, que tenga como objetivo una homogeneización en el caudal.
2. Depósitos de homogeneización de nivel variable: en este método de neutralización, el efluente sale con un caudal constante, y teniendo en cuenta que el caudal de entrada varía con el tiempo, el nivel del estanque debe hacerse variable. Este método se utiliza también con el objetivo no sólo de conseguir una neutralización, sino de conseguir un caudal de salida constante.
3. Otro método de homogeneización consiste en sacar el exceso de la corriente de entrada, o caudal de alimentación, a un depósito de retención, del cual sale una pequeña purga que va alimentando al tanque de homogeneización. Este método no se debe utilizar con objetivos de neutralización, sino solamente para el mantenimiento de la DBO o caudal.

(Ramalho 1993.).

4.2.3.2. Neutralización de las aguas residuales ácidas por métodos de control directo del pH

Los siguientes métodos de neutralización directa de las aguas residuales ácidas son los empleados normalmente:

Lechos de caliza

Se dispone de lechos de caliza con flujo ascendente o descendente. Para aguas residuales conteniendo ácido sulfúrico (H_2SO_4), los lechos de caliza no deben utilizarse si la concentración del H_2SO_4 supera el 0.6 %. La razón para esta limitación es que la caliza se cubre con una capa insoluble de $CaSO_4$, haciéndola inefectiva. Además, la evolución del CO_2 puede causar problemas.

La disposición de flujo ascendente es preferible a la contraria, ya que en esas unidades, el $CaSO_4$ tiende a ser arrastrado antes de precipitarse sobre la caliza. Además, los escapes de CO_2 generados en la reacción de neutralización, son más fáciles de eliminar en dichas unidades. En las unidades de flujo descendente teniendo en cuenta que el CO_2 tiene tendencia a escaparse en la dirección opuesta a la circulación del líquido, es más posible que ocurran ciertas condiciones de inundaciones adversas. Por estas razones, la máxima carga para los sistemas de flujo descendente se limita a valores aproximados a $2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{h}$. Puede hacerse un reciclado del efluente.

La presencia de iones metálicos (Al^{3+} , Fe^{3+}) en las aguas residuales reducen la efectividad del lecho de caliza debido a un recubrimiento de la misma con hidróxidos precipitados. Finalmente, si la dilución del ácido en el agua residuales aumenta, se requieren tiempos de retención mayores para su neutralización.

Neutralización con cal

La cal es el reactivo más utilizado para la neutralización de las aguas residuales ácidas, siendo la principal razón para su uso el bajo coste de la misma.

Se recomienda normalmente una adición por etapas de la cal. Para aguas residuales con alto contenido en ácido se recomiendan al menos dos etapas; la primera (neutralización grosera) para elevar el pH al menos a un valor entre 3.0 y 3.5, y con la segunda (ajuste) se pretende llegar al pH deseado para el efluente. A veces es necesaria una tercera etapa.

El control automático de este proceso no es nada simple, porque la relación entre el pH y la cantidad de cal adicionada no es lineal, particularmente en las cercanías del punto de neutralización ($\text{pH} = 7$).

En las cercanías del punto de neutralización, el pH es muy sensible a adiciones pequeñas de cal, variando en la operación normal de un sistema utilizando cal, tan rápido como una unidad de pH por minuto. Además, las fluctuaciones en el caudal del afluente complican el proceso. La utilización de una balsa de homogeneización suele ser recomendable para amortiguar las fluctuaciones. Una pequeña cantidad de reactivo se puede mezclar completamente con un gran volumen de líquido en muy poco tiempo; a tal efecto se utilizan mezcladores mecánicos.

Neutralización sosa cáustica (NaOH)

La sosa cáustica es más cara que la caliza. Ofrece ventajas con respecto a la uniformidad del reactivo, facilidad de almacenaje y alimentación, tiempo rápido de reacción, y el hecho de que los productos finales de la reacción (sales de sodio) son solubles.

Neutralización por carbonato de sodio

El carbonato de sodio (Na_2CO_3) no es tan reactivo como la sosa cáustica y presenta algunos problemas debidos a la emisión del dióxido de carbono

Neutralización con amoníaco

El amoníaco (NH_4OH) presenta la desventaja de ser contaminante; como consecuencia su uso puede estar prohibido por la normativa de control de la contaminación.

(Ramalho 1993.).

4.3. *Tratamiento secundario*

La expresión tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios.

El proceso de lodos activos ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. El diseño de las plantas de lodos activos se llevó a cabo fundamentalmente de una forma empírica. Sólo al comienzo de los años sesenta se desarrolla una solución más racional para el diseño del sistema de lodos activos. Este proceso nació de la observación realizada hace mucho tiempo de que si cualquier agua residual, urbana o industrial, se somete a aireación durante un período de tiempo se reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo floculento.

El examen microscópico de este lodo revela que está formado por una población heterogénea de microorganismos, que cambian continuamente en función de las variaciones de la composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales. Los microorganismos presentes son bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos. De éstos, las bacterias son probablemente las más importantes, encontrándose en todos los tipos de procesos de tratamiento biológico.

(Ramalho 1993.).

Los hongos y bacterias son conocidos por muchos como causa de efectos negativos sobre la salud, pero en realidad, en la mayor parte de los casos, producen efectos beneficiosos. Ellos son los encargados de la descomposición de la materia orgánica, y son los elementos esenciales que garantizan la presencia de la vida, manteniendo los ciclos esenciales del nitrógeno y carbono. Procesos, debidos a la actividad de los organismos, que se conocen bajo la denominación de *metabolismo*.

- Acción metabólica

La acción metabólica transforma los glúcidos, lípidos, ésteres, hidratos de carbono y prótidos en materia viva.

En el caso de las bacterias heterótrofas, sólo una parte del residuo orgánico es convertido en productos finales. La energía obtenida de las reacciones bioquímicas se utiliza en la síntesis de la materia orgánica transformada en nuevas células.

Acciones físico – químicas.

- Coagulación.
- Oxidación de la materia.
- Decantación.
- Arrastre de bacterias.

(Hernández, 2000.).

4.3.1. Factores que afectan el proceso de depuración biológica.

- Temperatura.

La depuración biológica se desarrolla de forma adecuada entre dos límites de temperatura 12 °C y 38 °C (zona mesofílica).

- pH.

Las enzimas son activas en un estrecho corredor alrededor de un pH determinado y que, normalmente, no puede ser muy diferente de pH = 7 (6.2 – 8.5).

- Homogeneización.

El proceso metabólico se optimizara cuando se logre una homogeneización perfecta. Los sistemas técnicos prácticos más homogéneos son:

- Fangos activos, sistema en el que la materia orgánica se mantiene dentro de la masa del agua en suspensión y homogeneizada, bien por sistemas hidráulicos, mecánicos o inyección de aire.
- Lechos bacterianos, sistema en el que se incorporan elementos, soportes, donde se fijan los lodos y los microorganismos, distribuyendo homogéneamente los alimentos (materia orgánica).

- Inhibidores.

Las enzimas son activadas en estado coloidal, pudiendo inhibir su actividad las sustancias presentes en las aguas en forma de sales insolubles, iones de metales pesados, reactivos alcaloides, el cloro y sus compuestos. Esta acción de los inhibidores puede actuar sobre los microorganismos destruyéndoles, o dejándoles en estado latente.

- Cantidad mínima de nutrientes.

La condición adecuada, para que el agua residual pueda depurarse, es que la cantidad de nutrientes sea suficiente, pudiéndose estimar su contenido por las relaciones.

$$\frac{\text{DBO}_5 \text{ (ppm)}}{\text{N}_{\text{total}} \text{ (ppm)}} = \frac{100}{5}$$

$$\frac{\text{DBO}_5 \text{ (ppm)}}{\text{P}_{\text{total}} \text{ (ppm)}} = \frac{100}{1}$$

TABLA 4.3.1.(1). ELEMENTOS INHIBIDORES DEL PROCESO BIOLÓGICO.

Elementos	Concentración de inhibidores	
	Ciclo del carbono (en ppm).	Ciclo del nitrógeno (en ppm).
Aluminio	15 – 16	No afecta
Plomo	0.1	-
Manganeso	10	-
Cadmio *	10 – 100	-
Hierro	2	-
Arsénico	0.1	-
Cobre	1	0.05 a 0.5
Magnesio	1 – 10	50
Níquel	1 – 2.5	0.25
Amoniaco	480	-
Zinc	0.08 – 1	0.08 – 0.5
Calcio	2.500	-
Cianuro	0.1 – 5	0.34
Mercurio	0.1 – 5	-
Cromo (16)	1 – 10	0.25
Plata	5	-
Sulfatos	-	500
Fenoles	200	4 - 16

* En un proceso aerobio es mucho menor: < 5 ppm

Fuente: Hernández, A. (2000), “Manual de depuración Uralita”, Thomson Learning, España. p. 107.

4.3.2. Fangos activos

En este tratamiento las aguas a tratar se introducen en un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. En el reactor se produce la transformación de los nutrientes en tejido celular y diversos gases. La demanda de oxígeno se realiza a través de difusores o aireadores mecánicos que, a la vez, producen una mezcla homogénea de las aguas residuales y los microorganismos (principalmente bacterias). Tras un tiempo determinado el cultivo se conduce a un tanque de sedimentación donde

las células se separan del agua. En el fondo del decantador se obtienen los fangos; parte de estos fangos se recirculan al reactor para mantener la masa biológica deseada y otra parte es purgada del sistema.

Las bacterias son los microorganismos más importantes en el proceso de fangos activados ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica. Parte de esta materia orgánica es utilizada por las bacterias con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células. Otros microorganismos actúan como depuradores de los efluentes, consumiendo las bacterias que no han flocculado o bien consumiendo cualquier partícula biológica que no haya sedimentado.

El tiempo de retención celular es el responsable de una buena sedimentación de las partículas biológicas, puesto que al aumentar la edad media de las células su carga superficial se reduce y los microorganismos producen unos polímeros extracelulares que los envuelven, produciendo unos flóculos rápidamente sedimentables

Una vez alcanzada una flocculación adecuada, las aguas con los flóculos pasan al decantador secundario donde se realiza una separación sólido - líquido.

(Hernández, 2000; Romero, 1999.).

4.3.2.1. Aireación y agitación

Las técnicas de aireación pueden dividirse en tres grupos:

- a) Con aire comprimido bajo formas diversas.
 - Grandes burbujas, mediante tubos sumergidos.
 - Burbujas medias, mediante tubos perforados, aspersores.
 - Burbujas finas, mediante difusores porosos finos y placas porosas.

b) Con medios mecánicos.

- De eje horizontal; como los cepillos rotativos.
- De eje vertical; como las turbinas, agitadores rotativos.

c) Con medios mixtos.

- Aire comprimido repartido mecánicamente con sistemas análogos a los del grupo anterior.

(Hernández, 2000.).

4.3.2.2. Sistemas funcionales

- *Proceso convencional.*

La recirculación se realiza en un solo punto, a la entrada del agua en el tanque, y esta mezcla agua – fango va recorriendo el tanque desde la entrada a la salida en forma conocida como flujo en pistón, con una fuerte tasa de crecimiento inicial del cultivo que va descendiendo hacia el final del tanque.

- *Mezcla completa.*

La recirculación se realiza en varios puntos mezclándose con el agua previamente. De esta forma se tiene una concentración homogénea en todo el tanque.

El mismo efecto puede tenerse haciendo la entrada agua – fango en un solo punto, pero manteniendo un sistema de agitación y una disposición de la entrada y la salida, en forma tal, que se conserve la homogeneización de la mezcla en todo el tanque.

- *Alimentación escalonada.*

Representa otra forma de mejorar el aprovechamiento en la aireación del agua. En este proceso se regula la alimentación del agua, graduándola a lo largo del tanque con objeto

de igualar la carga másica en todo el tanque. La aireación puede hacerse de una forma uniforme o también graduada.

- *Contacto – Estabilización.*

El tanque de aireación queda dividido en dos partes:

Una de ellas donde se realiza el contacto o mezcla del agua y el fango, constituye propiamente el tanque de floculación. El segundo tanque, llamado de activación (o de estabilización en otra nomenclatura), recibe el fango recién recogido del decantador, en él se airea sin presencia de sustancias orgánicas de nuevo aporte y, por ello, se agotan las reservas de materia orgánica presente en el proceso. Cuando este fango llega a la cámara de mezcla resulta muy ávido de la materia orgánica del agua residual, acelerándose en forma sensible del proceso.

- *Aireación prolongada.*

Esta variante de fangos activados se realiza con tiempos de retención hidráulica y de retención celular muy elevados. De esta forma, el fango llega a estabilizar aeróbicamente, debido a los prolongados períodos de aireación y el desequilibrio entre la cantidad de fango en el tanque y la cantidad de materia orgánica que llega, (se trabaja con valores muy bajos de la carga másica).

- *Doble etapa.*

Consiste en la utilización de dos procesos convencionales de fangos activos en serie. Resulta de interés este procedimiento en casos de alta carga de DBO_5 inicial, obteniéndose altos rendimientos y consumos energéticos más bajos.

- *Utilización de oxígeno puro.*

En esta variante, el aire se sustituye por oxígeno puro, introducido en tanques cerrados. El volumen del tanque puede reducirse en estos casos, y la cantidad de fango producido es considerablemente menor.

(Hernández, 2000.).

Parámetros normales de diseño

Valores normales de diseño, para los procesos de fangos activos descritos pueden ser los de la **Tabla 4.3.2.2.(1)**.

TABLA 4.3.2.2.(1). PARÁMETROS NORMALES PARA PROCESOS DE FANGOS ACTIVOS.

Parámetros normales de diseño para procesos de fangos activados							
Variantes del proceso	O _c días	T _r horas	Carga másica kg DBO ₅ / d kg MLSSV	Carga volúmica kg DBO ₅ / d m ³	MLSS mg / l	O.C. kg O ₂ kg DBO ₅	
Convencional	4 - 10	4 - 8	0.2 - 0.4	0.32 - 0.64	1500 - 4000	(0.8 - 1.2) ^(a)	
Mezcla Completa	4 - 10	4 - 8	0.5 - 0.6	0.4 - 0.9	2000 - 5000	0.8 - 1.2	
Aireación Escalonada	4 - 10	4 - 8	0.2 - 0.4	0.64 - 0.96	2000 - 3500	0.8 - 1.2	
Contacto - Estabilización	(U.C.)*	3 - 10	3 - 6	0.5 - 2	1.5 - 3	(1000 - 3000)	0.4 - 0.6
	(U.E.)**	-	1 - 3	0.2 - 0.6	0.5 - 1.2	(4000 - 10000)	0.8 - 1.1
F.A. Alta Carga	2 - 4	2 - 4	0.4 - 1	1.1 - 3.0	1000 - 3000	0.7 - 0.9	
Aireación Prolongada	≥ 30	16 - 24	0.05 - 0.15	0.16 - 0.3	2000 - 6000	(1.4 - 1.6) ^(a)	
Etapa Nitrificación	10 - 15	6 - 12	0.05 - 0.15	0.16 - 0.48	-	1.1 - 1.5	
Parámetros normales de diseño para procesos de fangos activados							
Variante del Proceso	Q1 Q	% Reducción DBO	mg O ₂ / H gMLSS	Exceso Fangos kg / kg DBO			
Convencional	0.25 - 0.75	92	7 - 15	0.4 - 0.6			
Mezcla Completa	0.25 - 1	92	7 - 15	0.4 - 0.6			
Aireación Escalonada	0.25 - 0.75	92	7 - 15	0.4 - 0.6			
Contacto - Estabilización	(U.C.)*	0.25 - 1	92	10 - 30	0.4 - 0.6		
	(U.E.)**	0.50 - 1	-	20 - 30	-		
F.A. Alta Carga	0.25 - 1	85	0.5 - 0.7	-			
Aireación Prolongada	1 - 3	90	3 - 8	0.15 - 0.3			
Etapa Nitrificación	-	95	3 - 8	0.15 - 0.3			
(*) Unidad de Contacto.							
(**) Unidad de Estabilización de sólidos.							
(a) Oxígeno adicional en caso de nitrificación.							
Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 115.							

4.3.2.3. Características estructurales. Tipos de reactores

La forma del tanque de fangos activados está relacionada directamente con el sistema de agitación y / o aireación empleado. Una de las funciones de la aireación del agua en el proceso consiste en crear condiciones de turbulencia necesarias para que se realice una buena mezcla entre el aire, el agua y el fango.

Para ello, en el caso de agitación de por aire, es preciso que el sistema de aireación actúe en todo el tanque sin dejar zonas muertas o, lo que es lo mismo, que la forma del tanque se adapte al régimen hidráulico interior, creado por la aireación.

- *Tanques para difusión de aire por burbujas.*

La difusión de burbujas de aire en el agua no se suele realizar a profundidades de 2.5 m ni mayores de 5.5 m. las burbujas ascienden rápidamente y escapan a la atmósfera. Por ello es conveniente introducir el aire de tal forma que se cree un movimiento rotacional (de eje horizontal en el tanque), haciendo que parte de las burbujas queden arrastradas por ese movimiento, no saliendo del agua tan rápidamente y aumentando con ello la capacidad de oxigenación.

El tanque debe tener una forma adecuada a esta recirculación interior. Es usual hacer tanques de forma paralelepédica, donde la longitud tiene un valor superior a 4 veces del ancho. Suelen ser los tanques de ancho igual al doble de la altura, donde se dispone una fila de difusores en cada uno de los laterales del fondo.

- *Tanques para aireadores superficiales o sumergidos de eje vertical.*

En estos procesos, la forma del tanque está muy relacionada con las características hidráulicas del elemento aireador. El trabajar éste, aspirando del fondo e impulsando sobre la superficie, las líneas de corriente de la recirculación interior crean un flujo cuya dinámica se desarrolla alrededor de un eje vertical. En consecuencia es preciso que la geometría del tanque sea adecuada para que no queden zonas muertas.

Para este tipo de aireadores suelen utilizarse tanques de planta cuadrada o circular. Cuando la planta es rectangular se subdivide en varias zonas cuadradas, en cuyos centros se sitúan los aireadores – turbina.

En cualquier caso, las relaciones de forma suelen representar valores del ancho del tanque (diámetro o lado del cuadrado) de entre 2.5 y 5 veces la profundidad del tanque. Y ello para profundidades comprendidas entre 2.5 y 5 m. estas relaciones varían significativamente de las turbinas superficiales a las sumergidas.

- *Tanques para aireadores superficiales de eje horizontal.*

El funcionamiento de estos aireadores obliga a construir tanques en forma de canal continuo, circular, elíptico o similar. De esta forma el aireador (uno o varios) produce un flujo horizontal en dicho canal cerrado que hace recorrer la mezcla agua – fango sucesivas veces bajo el aireador.

La propia construcción de los aireadores obliga a adoptar anchos de canal entre 3 y 4 m, con profundidades también limitadas a 3 m. por ello las longitudes necesarias de canal suelen ser importantes.

- *Tanques con agitación y aireación separados.*

Pueden utilizarse cualquiera de los tanques tipo indicados anteriormente. La agitación garantiza la homogeneización de los lodos en el reactor, ajustándose en este caso la incorporación de oxígeno a las cantidades realmente necesarias. El sistema así diseñado permite la máxima flexibilidad del sistema.

(Hernández, 2000.).

4.3.2.4. El papel de la temperatura

La temperatura tiene, en el proceso de fangos activados, un papel muy importante. Su acción principal está en la relación con:

- La acción metabólica de los microorganismos, con una acción creciente desde los 14 °C hasta los 32 °C, que vuelve a ser decreciente desde los 32 °C hasta los 35 °C, dentro de la zona mesofílica.
- La transferencia de oxígeno. La transferencia de oxígeno es casi constante en temperaturas entre 5 y 30 °C, ya que a medida que aumenta la temperatura el oxígeno de saturación disminuye, pero aumenta el coeficiente de transferencia. Esta conclusión se considera válida para el sistema de aireación neumática o de poca turbulencia.

Para aireadores mecánicos pueden considerarse los siguientes valores relativos de transferencia de oxígeno.

(Hernández, 2000.).

TABLA 4.3.2.4.(1). TRANSFERENCIA DE OXÍGENO Y TEMPERATURA.

Temperatura del agua	5	10	15	20	25	30
Valor relativo de transferencia de O ₂	1.12	1	0.9	0.8	0.73	0.69

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 117.

4.3.2.5. Rendimiento de los aireadores

Los aireadores se clasifican en función a su tasa de transferencia de oxígeno expresada en kg de O₂ por kilowatio hora (kW h) en condiciones normalizadas.

Una comparación de los sistemas de aireación aparece en la siguiente tabla.

(Hernández, 2000.).

TABLA 4.3.2.5.(1). COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE AIREACIÓN.

Tipo Sistema de Aireación.	Kg O ₂ / kW h absorbido			Observaciones
	Valores extremos	Valores normales	Medio	
Turbinas Lentas.	0.8 – 2.2	1.2 – 1.9	1.5	-
Turbinas Rápidas.	0.6 – 1.4	0.8 – 1.2	1.0	-
Cepillos.	0.8 – 2.3	1.3 – 1.9	1.4 1.77	$\Theta < 0.70$ m $\Theta > 1.00$ m
Burbujas Gruesa + Turbinas.	0.5 – 1.5	0.7 – 1.1	1.9	-
Burbujas Finas.	1.8 – 3.2	< 2	-	-
Turbinas en depresión.	0.1 – 0.8	0.4 – 0.8	0.6	-
Bombas sumergidas + Inyección de aire.	0.9 – 2.3	-	-	Mejores resultados con profundidades de 7.0 m

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 121.

4.3.3. Aireación prolongada (o proceso de oxidación total)

Este proceso, al que se conoce también por oxidación total, es una modificación del proceso de lodos activos. La idea fundamental de la aireación prolongada, al compararla con el proceso convencional de lodos activos, es disminuir la cantidad de lodo residual. Esto se consigue aumentando el tiempo de residencia; de ésta forma el volumen de reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activos. Como consecuencia de todo ello, esencialmente todo el lodo degradable formado se consume mediante respiración endógena.

La ventaja principal del proceso de aireación prolongada es que las instalaciones para la manipulación de lodos son muy pequeñas al compararlas con las que se necesitan en el proceso de lodos activos. (Ramalho 1993.).

Comparación de los procesos de aireación prolongada y lodos activos

Existen cuatro características básicas que distinguen la aireación prolongada del proceso de lodos activos:

1. Mayor tiempo de retención en el reactor.
2. Cargas orgánicas menores.
3. Mayores concentraciones de sólidos biológicos en el reactor. Estos valores varían entre 3,500 y 5,000 mg / l en la aireación prolongada frente a 2,000 – 3,000 mg / l del proceso convencional de lodos activos. (la combinación de las dos características anteriores, es decir, menor sustrato para una mayor población de microorganismos) producen condiciones de inanición de los microorganismos. El *canibalismo* resultante (condición de respiración endógena) reduce la producción neta de MLVSS, con lo que se consigue una disminución de la acumulación de lodos.
4. Mayor consumo en el proceso de aireación prolongada. Para el tratamiento de aguas residuales urbanas, en el proceso de aireación prolongada existe un consumo de oxígeno aproximadamente doble del requerido para el proceso de lodos activos convencionales, concretamente 18 frente a 9 kWh / cápita y año. Con este pequeño coste adicional energético pueden conseguirse ahorros sustanciales de capital.

(Ramalho 1993.).

En la **Tabla 4.3.3.(1)** se presenta una comparación de las principales características de los procesos de lodos activos convencional y de aireación prolongada.

TABLA 4.3.3.(1). COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE LODOS ACTIVOS CONVENCIONALES Y DE AIREACIÓN PROLONGADA.

Características	Lodos activos convencional	Aireación prolongada
Sustrato a microorganismos, kg DBO ₅ / d kg MLVSS.	0.3 – 0.7	0.10 – 0.25
Concentración de MLVSS en el reactor (mg / l).	2000 - 3000	3500 – 5000
Rendimiento global de disminución de la DBO ₅ . (Incluye tanto la DBO ₅ soluble como la insoluble, %).	85 - 95	85 – 98
Características del efluente.		
DBO ₅ soluble (mg / l).	10 - 20	10 – 20
DBO ₅ total (en suspensión + coloidal + soluble) (mg / l).	15 - 25	20 – 40
Sólidos en suspensión (mg / l).	< 20	< 70
Producción de lodos (kg / kg DBO ₅ consumida).	≈ 0.03	≈ 0.01
Requisitos de O ₂ (como % de la DBO ₅ consumida).	90 - 95	120
Tiempo de residencia en el reactor biológico.	4 – 8 h.	15 – 36 h
Edad de los lodos.	5 – 15 días	20 – 60 días.
Fuente: Ramalho, R. (1993). "Tratamiento de aguas residuales". España: Reverté. p. 413.		

Aplicación de la aireación prolongada

El proceso de aireación prolongada ha sido principalmente en el tratamiento de aguas residuales cuando el volumen diario es menor de 8 m³ / d. estos corresponden al tratamiento de las aguas negras de pequeñas comunidades, urbanizaciones, áreas de recreo y algunos residuos industriales. Se dispone comercialmente de unidades prefabricadas de aireación prolongada. Si se diseñan y manejan adecuadamente no presentan problemas de olores y de esta forma pueden instalarse dentro de las zonas pobladas. (Ramalho, 1993.).

4.3.4. Contacto estabilización

El proceso de contacto – estabilización es otra modificación de lodos activos.

El agua residual afluyente se mezcla con lodos estabilizado y esta mezcla se somete a aireación en el tanque de contacto inicial para el cual el tiempo de retención es

solamente de 20 a 40 min. Durante el contacto inicial se separa una fracción apreciable de demanda biológica de oxígeno, en suspensión y disuelta, mediante bio – absorción después de estar en contacto con el lodo activo suficientemente aireado. El efluente mezcla procedente del tanque de contacto inicial fluye al clarificador. El efluente mezcla procede del tanque de contacto inicial fluye al clarificador. Se separa el efluente clarificado y la descarga del clarificador se lleva a un tanque de estabilización en donde es aireada durante un periodo de 1.5 a 5 h.

Durante este periodo de estabilización los productos orgánicos adsorbidos se rompen mediante degradación aerobia. El lodo estabilizado que abandona el tanque de estabilización lo hace en condiciones de *inanición* y dispuesto por lo tanto a adsorber residuos orgánicos.

Se dispone comercialmente de plantas prefabricadas de contacto – estabilización. Estas unidades se construyen de acero y tienen una sección circular. El clarificador se coloca en el centro de unidad y los tanques de contacto inicial y de estabilización son periféricos. Aunque el tiempo de residencia en el tanque de estabilización es mayor que el tanque de contacto inicial, maneja un volumen mucho menor del líquido y en consecuencia sus dimensiones son menores que las del tanque inicial. La aireación de los tanques de estabilización y de contacto inicial en las plantas prefabricadas, se lleva a cabo normalmente mediante difusores. (Ramalho, 1993.).

Ventajas del contacto – estabilización frente al proceso convencional

Debido a que solamente el lodo de reciclado se somete a aireación prolongada, este sistema permite una reducción apreciable de la balsa de aireación. Esta es la principal ventaja del contacto – estabilización frente al proceso convencional de lodos activos. Los volúmenes aproximados de tanque para el proceso convencional de lodos frente al de contacto – estabilización son de 11 a 4, respectivamente. Esto corresponde a una

reducción en el tamaño del tanque de aproximadamente tres veces. Los rendimientos globales de separación son normalmente menores que en el proceso convencional de lodos activos pero se pueden alcanzar fácilmente una separación de la DBO₅ del 85 al 90 %.

El proceso de contacto – estabilización es adecuado cuando el agua residual contiene una proporción elevada de DBO en las formas coloidal y en suspensión. Las plantas de contacto – estabilización pueden funcionar sin necesidad de clarificación primaria. (Ramalho, 1993.).

4.3.5. Lechos bacterianos

Los lechos bacterianos son un sistema de depuración biológica de aguas residuales en el que la oxidación se produce al hacer circular, a través de un medio poroso, aire y agua residual. La circulación del aire se realiza de forma natural o forzada, generalmente a contra corriente del agua.

La materia orgánica y sustancias contaminantes del agua son degradadas en una película biológica compuesta por microorganismos, que son el material soporte de la película. Esta película no debe tener, más de 3 mm de espesor ya que no se puede asegurar la acción del oxígeno en espesores mayores. La película se forma por adherencia de los microorganismos al material soporte y a las películas orgánicas, formando la película.

La película biológica está constituida principalmente por bacterias autótrofas (fondo) y heterótrofas (superficie), hongos, algas verdes y protozoos. También se encuentran en el interior del lecho, seres más evolucionados, como gusanos, larvas de insectos, caracoles y limacos. (Hernández, 2000.).

4.3.6.1. Forma y estructura de los lechos bacterianos

Están muy ligadas al sistema de distribución que se emplee.

Si se utilizan distribuidores fijos, la forma suele ser rectangular. Asimismo son rectangulares los lechos alimentados por distribuidores móviles de traslación. Cuando se emplean distribuidores giratorios, la forma es circular. Los modernos lechos de aireación forzada son casi todos circulares. (Hernández, 2000.).

4.3.6.2. Características constructivas y funcionales

- *Distribución del agua.*

La distribución del agua residual debe ser lo más uniforme posible. Por tanto, hay que evitar atascos y paradas. Los aspersores pueden ser fijos o móviles. Los fijos requieren un dispositivo más complicado de distribución y, por tanto, una mayor pérdida de carga (alrededor de 2 m) los móviles consisten en brazos giratorios dispuestos radialmente, con boquillas incorporadas y movidos por carga hidráulica. La pérdida necesaria es de 0.5 m. la velocidad es de 0.3 a 5 vueltas por minuto, dependiendo de la carga superficial.

- *Masa soporte*

Es conveniente que la masa filtrante tenga la mayor superficie específica posible, para que se pueda formar la mayor cantidad de película biológica. Pero esta característica hay que conjugarla con el índice de huecos, ya que éstos serán los que permitirán el paso del aire y del agua.

La altura de masa oscila entre 1.5 y 4 metros, siendo la más utilizada la de 2 m, aunque existen fórmulas teóricas que determinan la altura óptima. Los tamaños de árido usados oscilan entre 4 y 8 cm. Los materiales soporte pueden ser naturales o artificiales. Hay que cuidar la uniformidad del medio poroso, su durabilidad y resistencia. Los materiales

más usados son la piedra silíceo, el pórfido o las puzolanas. Los materiales artificiales pueden ser desde escorias hasta elementos plásticos, fabricados especialmente para conjugar la superficie y los huecos, de forma que se aumente el rendimiento por unidad de volumen. Se ha conseguido reducir el peso de un 95 %, duplicando el índice de huecos y aumentando la superficie específica.

- *Ventilación.*

La ventilación puede ser natural o forzada.

- *Ventilación natural.*

La ventilación natural se produce por efecto de la diferencia de temperaturas del aire y del agua. Al calentarse o enfriarse en el interior del lecho se produce una variación de densidad que provoca el movimiento de la masa.

Cuando la diferencia no es mayor de 2 °C, se para el tiro, el lecho estará aireado cuando se produzca una diferencia térmica, entre agua y aire, superior a 2 °C.

- *Ventilación forzada.*

En algunos tipos, para evitar este paro de oxigenación, se recurre a la ventilación forzada, inyectando $0.3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$, de forma artificial. Se recurre a este sistema cuando, por causas exteriores como frío, hay que cerrar los lechos.

- *Recogida del agua.*

La recogida del agua residual tratada se efectúa por medio de un dispositivo de drenaje en el fondo del lecho bacteriano. Este sistema contará con un sistema de canales de recogida, con la característica fundamental de que no deben existir sedimentaciones, ya que el agua residual lleva los flóculos que sedimentarán en el decantador secundario. Para ello la pendiente será del 1 % ó 2 %, y la sección no irá nunca llena, ya que deberá servir también como canal de aireación. Una recomendación de diseño marca que la

zona de salida al falso fondo de agua aire, sea el 15 ó 20 % de la superficie total del lecho.

(Hernández, 2000.).

4.3.6.3. Tipos de lechos bacterianos

Los lechos bacterianos pueden clasificarse atendiendo a aspectos fundamentales o a aspectos constitutivos Así puede hacerse la clasificación de la **Tabla 4.3.6.3.(1)**.

TABLA 4.3.6.3.(1). CLASIFICACIÓN DE LECHOS PARA CARGA.

Factor	Tipo de lecho		
	Baja Carga	Media Carga	Alta Carga
<ul style="list-style-type: none"> Carga hidráulica $m^3 / m^2 - d$ $m^3 / m^2 - h$ 	> 0.48 > 0.02	1.10 – 10.00 0.04 - 0.41	14.00 45.00 0.58 – 2.00
<ul style="list-style-type: none"> Carga orgánica kg DBO5 / m3 - d 	0.08 > 0.40	0.30 – 070	0.50 – 5.00
<ul style="list-style-type: none"> Recirculación Q_r / Q 	NO	1:1 a 3:1	1.1 a 4.1
<ul style="list-style-type: none"> Profundidad lecho: Una etapa (m). Varias etapas (m). 	1.80 – 3.00	1.50 – 2.50 0.45 - 120	0.90 – 2.40 0.50 – 1.20
<ul style="list-style-type: none"> Intervalo de alimentación. 	-	> 5 min.	> 15 seg.

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 127.

4.3.6.4. Cálculos de los lechos bacterianos

- Carga hidráulica.*

Se expresa en m^3 / d de agua aplicada por m^2 de superficie del lecho. Esta carga es la que condiciona la velocidad de paso a través del material, y por lo tanto el tiempo de retención que es el factor del que depende, en condiciones normales, la eliminación de la

DBO, y el rendimiento del sistema. Por ello este es un parámetro fundamental para el control del funcionamiento.

- *Carga específica*

La superficie recubierta por las membranas bacterianas, o superficie regada por m³ de lecho filtrante, depende del tamaño y características de los elementos utilizados en su construcción.

Se obtiene así este parámetro como cociente de la superficie de la masa filtrante por m³. Éste se relaciona con el tiempo de retención de las aguas en el lecho.

- *Carga volúmica.*

Este parámetro indica los kg de DBO por m³ de material filtrante.

- *Recirculación.*

La recirculación de una parte del efluente, ya sea al decantador primario, o al lecho bacteriano directamente, es un método que se ha extendido mucho, como medio de mejora del rendimiento del proceso. Efectivamente, la recirculación cumple los siguientes objetivos:

- a) Efectúa una dilución del influente, reduciendo el efecto que pueda producirse de una sobrecarga instantánea.
- b) Reduce la tasa de crecimiento de la película biológica por el mismo efecto de dilución.
- c) Produce un mayor arrastre de las partes no activas de la película biológica, procurando un contacto más efectivo de ésta con el influente.
- d) Tiende a procurar una distribución vertical más uniforme de la película.
- e) Se produce un aumento de rendimiento, como consecuencia del hecho de que el agua a tratar ya no pasa solamente una vez por el sistema, sino que, dependiendo del porcentaje de recirculación, hay una cierta parte de aquella que pasa una vez, otra pasa dos veces, otra tres, etcétera.

4.3.6.5. Biodiscos y biocilindros

Los biodiscos y biocilindros se integran dentro de los procesos biológicos, como lechos, caracterizados por precisar material soporte, realizando una misión similar a la de los lechos estáticos. El proceso es válido como elemento reductor de la materia orgánica, como elemento de nitrificación y elemento de desnitrificación. Su funcionamiento puede sintetizarse, indicando que los elementos soporte integrantes de los biodiscos o biocilindros, sumergen parcialmente (40 %), en las aguas residuales a tratar, contenidas en depósitos por los cuales fluyen las aguas y, girando a baja velocidad, exponen, alternativamente el aire y en agua a tratar, dichos elementos soporte que integran el equipo. Una película biológica empieza a desarrollarse sobre sus superficies.

Cuando, por la rotación, una sección de los tambores sale del agua, arrastra consigo parte del agua misma que, goteando, forma una fina película líquida y, por lo tanto, con una elevadísima posibilidad de contacto y de intercambio con el oxígeno atmosférico. El crecimiento biológico aumenta hasta alcanzar un espesor de 0.2 a 3.0 mm.

Los biodiscos y biocilindros se diferencian de los lechos bacterianos en que en éstos el soporte normalmente está fijo.

A su vez, entre ellos existen diferencias. En los biodiscos, los elementos soporte del biofilm, están fijos, guardando distancias fijas entre los discos. En los biocilindros, el tambor está constituido por un elemento como contenedor de elementos sueltos.

(Hernández, 2000.).

4.3.7. Lagunajes

Son sistemas de depuración adecuados para pequeños núcleos, donde el suelo no sea caro, con escasez de personal preparado, y con disposiciones económicas escasas para el mantenimiento y explotación.

Estos sistemas pueden asimilarse, a procesos biológicos intermedios entre la autodepuración con cauces receptores y el proceso de fangos activos, al que se llegaría con lagunajes aireados artificialmente, teniendo prevista la recirculación de fangos. Se pretende en ellos la captación máxima de oxígeno por superficie y por acción fotosintética.

Los depósitos pueden ser:

- *Anaerobios de pretratamiento*, consistentes en un decantador – digestor, donde se generan condiciones anaeróbicas de fermentación descomponiendo los complejos residuos orgánicos.
- *Facultativos*, en los que la parte superior mantiene condiciones aerobias por la acción de las algas, y una zona anaerobia inferior.
- *Aerobios*, en los que las bacterias aerobias generan procesos metabólicos y de floculación, similar al proceso de fangos activos, lográndose mantener las condiciones aerobias por algas y captación de oxígeno por superficie. Se denomina estanque aireado al dotado de medios artificiales de introducción de oxígeno.

El lagunaje se suele concebir como una serie de depósitos, denominados:

- Primarios o de aguas residuales brutas, o a continuación de un pretratamiento.
- Secundarios, los que reciben aguas de los depósitos anteriores o de salida de decantación o de procesos biológicos.
- Terciarios, los que reciben las aguas de los depósitos anteriores. Funcionan como una unidad de depuración secundaria.

- De maduración, teniendo como misión fundamental la reducción de microorganismos patógenos por la acción natural de las radiaciones ultravioletas.

Una clasificación básica es la separación entre lagunas naturales, y las lagunas aireadas. (Hernández, 2000.).

4.3.7.1. Lagunas naturales

Construidas normalmente sobre el terreno, son sencillas con rendimientos escasos y con problemas de producción de olores. Pueden considerarse como solución para comunidades rurales con sistemas de saneamiento unitario y con población equivalente a los 2,000 he.

Los rendimientos son muy variables en la reducción de DBO, pudiéndose señalar del 60 – 80 % en verano, y del 45 – 70 % en invierno.

En los depósitos primarios los sólidos sedimentables caen al fondo, donde se produce una fermentación anaerobia. El gas desprendido por esta fermentación, con independencia de producir olores, pone de nuevo sólidos en suspensión, llevando incluso a formar costras de lodos en la superficie del depósito.

Los sólidos en suspensión no sedimentables y los disueltos pasan a los depósitos secundarios, donde, bajo condiciones aeróbicas, por la acción de los microorganismos se producen efectos de metabolización y floculación. El oxígeno preciso para el proceso proviene de la captación superficial y de la producción por la acción de las plantas acuáticas, principalmente por las algas.

Puede complementarse el sistema con depósitos terciarios, teniendo misión de reactor biológico complementario. O bien con un estanque de maduración.

Un problema, normalmente olvidado en este tipo de depuración, es la eliminación de los lodos producidos. Cuando éstos alcanzan el tercio de altura útil, es preciso proceder a su vaciado, debiéndose en cualquier caso extraer los lodos una vez por año, en la época que la agricultura puede absorber estos lodos como abono. (Hernández, 2000.).

4.3.7.2. Lagunas aireadas

Para evitar los problemas de olores, ajustar la incorporación del oxígeno ante variaciones de carga y condiciones estacionales, y para mejorar la agitación dentro de los depósitos, surgen las lagunas aireadas, que por supuesto necesitan conexión eléctrica para los sistemas de aireación. Cualquiera de los sistemas de aireación citados en los sistemas convencionales son válidos para las lagunas.

Estos depósitos aireados funcionan como proceso de fangos activos de baja carga, sirviendo parte de los depósitos como decantadores secundarios, donde los lodos se van estabilizando, parte por vía aerobia, parte por vía anaerobia.

Con la aportación de materia orgánica, los microorganismos, principalmente las bacterias, dan origen a nuevos microorganismos de acuerdo con la acción metabólica, y a la vez generan flóculos que permiten separar la contaminación por decantación de los sólidos floculados.

Estos procesos de baja carga mineralizan la materia orgánica dando origen a importantes cantidades de nitratos (NO_3) y fosfatos (PO_4^{3-}) que dan origen a un crecimiento importante de algas. (Hernández, 2000.).

4.3.7.3. Estudio previos a la construcción de un lagunaje

Uno de los problemas importantes de los lagunajes es la falta de estanqueidad de los depósitos, que pueden generar impactos importantes en las aguas subterráneas.

Para la implantación de un lagunaje son precisos estudios sobre:

- Accesibilidad.
- Topografía.
- Geología.

Dentro de los aspectos geológicos debe definirse la naturaleza del suelo y la existencia de masas rocosas, la posibilidad de empleo del propio material del terreno para construir el depósito necesario, la permeabilidad del terreno, así como la hidrología e hidrogeología de la zona. (Hernández, 2000.).

Factores que afectan al rendimiento de los lagunajes

Los factores que influyen sobre la depuración por lagunaje pueden ser de tipo climático, físico, químico y biológico. (**Tabla 4.3.7.3.(1).**).

TABLA 4.3.7.3.(1). FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA DEPURACIÓN POR LAGUNAJE

Factores	Parámetros
Climáticos	Temperatura, radiación solar, viento, precipitación, evaporación.
Físicos	Estratificación, líneas de corriente, profundidad.
Químicos	Cargas de contaminación, puntas de carga, tóxicos e inhibidores, grasas, nutrientes, pH.
Biológicos.	Macrofitas, microfitas, bacterias, algas, protozoos, hongos, insectos.

Fuente: Hernández, A. (2000), "Manual de depuración Uralita", Thomson Learning, España. p. 220.

Ventajas e inconvenientes de los lagunajes

Las ventajas pueden ser:

- Bajo coste de explotación y mantenimiento a corto plazo.
- Las necesidades energéticas son mínimas, en lagunajes naturales y reducidos en los lagunajes aireados.
- No requiere personal cualificado para el mantenimiento y explotación.
- Los rendimientos en eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión son aceptables.
- Absorbe fácilmente variaciones de carga puntuales, debido al efecto regulador de las lagunas.
- Es un proceso natural o casi natural, que se integra fácilmente en el medio rural.

Los inconvenientes fundamentales son:

- Se necesita una gran cantidad de terrenos.
- Es un problema la extracción periódica y eliminación concentrada de los lodos.
- Presenta problemas de olores.
- Aparecen cantidades importantes de insectos.
- Si el vertido del agua tratada es a un embalse puede crear problemas de eutrofización por la gran cantidad de algas que lleva en suspensión.
- Pérdida de agua por evaporación.
- Una vez construidos no existe facilidad para modificar las condiciones del proceso, ante modificaciones de carga o condiciones meteorológicas. Este problema se plantea fundamentalmente en los lagunajes naturales.

(Hernández, 2000.).

4.3.8. Estanques de estabilización aerobia

Los estanques de estabilización aerobia son grandes depósitos excavados en el terreno y de poca profundidad. Existen condiciones aerobias en toda su profundidad.

Los microorganismos utilizados son bacterias y algas. Hay dos tipos básicos de estanques, aquellos que maximizan la producción de algas interesantes cuando se intente cultivar algas para recuperar proteínas en forma de tejido celular que pueda servir de alimentación para el ganado y se denominan estanques de alta carga, y los que maximizan la producción de oxígeno; los primeros tienen profundidades pequeñas (hasta 0.5 m) y los segundos son más profundos. El oxígeno es producto por algas y también por difusión atmosférica.

Se consigue aumentar el rendimiento de los estanque introduciendo aire periódicamente mediante difusores o aireadores de superficie.

Los estanques de estabilización son muy utilizados para el tratamiento de pequeños volúmenes de aguas residuales, tanto industriales como urbanas debido a sus bajos costes de construcción y funcionamiento.

Como en todo proceso de tratamiento biológico, el agua residual tratada y evacuada debe contener la mínima cantidad posible de materia orgánica en forma de tejido celular, en consecuencia, después del tratamiento debe haber una separación de sólidos, que se puede conseguir con tanques de sedimentación, precipitación química, flotación con aire disuelto, tamices, filtros y dispositivos especiales de recolección de algas.

(Romero, 1999.).

4.3.9. Filtros percoladores

El medio filtrante al que se adhieren los microorganismos está formado generalmente por piedras, con un espesor que varía entre 0.9 y 2.4 m, según el diseño que se utilice.

En término medio, el espesor del filtro es de 1.8 m. existen lechos de material plástico, con espesores de 9 a 12 m. La forma del filtro es generalmente circular y el agua residual a tratar se rocía por encima, generalmente con un distribuidor giratorio. El agua tratada sale por la parte inferior del disco mediante un sistema de desagüe sistema que permite también la introducción de aire para que el sistema se comporte como aerobio.

En estos procesos se puede establecer un ambiente anaerobio cerca de la superficie del filtro, puesto que al ir realizándose el proceso es posible que no llegue suficiente oxígeno a las capas altas del filtro como para mantener el ambiente aerobio; esto produce una pérdida de la película biológica que es función, fundamentalmente, de la carga hidráulica y orgánica del filtro. Los microorganismos que no podemos encontrar en este tipo de filtros son: bacterias aerobias, anaerobias y facultativas, hongos, algas y protozoos. En las zonas más bajas del filtro es donde se encuentran en mayor número las bacterias aerobias nitrificantes. (Romero, 1999.).

Comparación entre los filtros percoladores y el proceso de lodos activos

Para rendimiento en la disminución de la DBO de aproximadamente 60 %, se ha encontrado que normalmente los filtros percoladores son más económicos que el proceso de lodos activos, en particular para caudales pequeños de aguas residuales. Para rendimientos superiores en la disminución de la DBO (90 % o más) el proceso de lodos activos es más económico debido a que el coste del material del relleno podría resultar demasiado elevado. Estas consideraciones sugieren una posible operación en dos etapas:

filtros percoladores seguidos por una planta de lodos activados, combinación que en algunos casos puede resultar ventajosa.

Debido a que los organismos gubernativos están imponiendo normas de calidad del efluente cada vez más restrictivas, el hecho de que sea difícil para los filtros percoladores competir económicamente en las plantas de lodos activos, en el intervalo de rendimientos elevados de la disminución de la DBO puede resultar un factor importante contra la utilización de los filtros percoladores en el tratamiento de las aguas residuales.

Algunas ventajas de los filtros percoladores sobre el proceso de lodos activos son:

- No se necesita energía para la aireación.
- Operación sencilla.
- Respuesta lenta y recuperación más rápida de los cambios bruscos de la DBO.
- Son menos sensibles a la presencia de sustancias tóxicas en el afluente.

(Ramalho, 1993.).

4.3.9.1 Disposición física de los filtros percoladores.

Los filtros percoladores son lechos de 1 a 12 m de profundidad rellenos de materiales tales como roca, clinkers o materiales sintéticos (nombres comerciales: Srfpac, Flocor, Actifil). Estos rellenos de material plástico se encuentran en el mercado en formas diversas. El agua residual afluente percola a través del relleno poniéndose en contacto con la capa de limo biológico.

Las dos propiedades más importantes de los filtros percoladores son la superficie específica y el porcentaje de huecos. La superficie específica se define como los m^2 de superficie de relleno por m^3 de volumen total. Cuanto mayor sea la superficie específica mayor será la cantidad de limo biológico por unidad de volumen. Por otra parte, a mayor porcentaje de huecos se consiguen cargas hidráulicas superiores sin peligro de inundación.

Mientras que los lechos rellenos de roca, clinkers u otros materiales similares, no pueden sobrepasar las profundidades entre los 6 y 12 m. el mayor porcentaje de los huecos en los rellenos sintéticos facilita el flujo y reduce el peligro de inundación.

Para rellenos comunes (roca, clinkers, etcétera.) las características normales son las siguientes: diámetro: 4 – 5 cm; área superficial específica: 80 – 110 m^2 / m^3 de volumen global; porcentaje de huecos: 45 – 55 % y carga hidráulica máxima: $3.4 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}^2$. (Ramalho, 1993.).

4.4. Tratamiento, uso y eliminación de fangos

En los procesos de depuración de aguas residuales, las aguas se han visto desprovistas de los sólidos en suspensión en dos etapas del proceso. En el tratamiento primario se produce por fenómenos meramente físicos una separación de parte de los sólidos debidos a su densidad. En el tratamiento secundario parte de la materia orgánica ha sido metabolizada y transformada en materia viva, pero la acción más importante es el efecto de floculación, que permite separar los flóculos de materia orgánica, materia viva y materia inorgánica en los decantadores secundarios. Es preciso pensar en un tratamiento de los fangos, que se denomina digestión, tanto para el aprovechamiento de los lodos como para su eliminación.

Salvo en los procesos de aireación prolongada, tanto los lodos extraídos del tratamiento primario, como del secundario, precisan un tratamiento posterior de digestión, salvo casos excepcionales.

En este proceso de digestión se pretende:

1. Disminución de materias volátiles.
2. Mineralización de la materia orgánica.
3. Concentración de lodos.

- *Fangos de decantación primaria.*

Los fangos procedentes de decantación primaria son generalmente de consistencia limosa y color de marrón a gris, volviéndose sépticos y dando mal olor con gran facilidad.

- *Fangos de precipitación química.*

Los fangos que proceden de precipitación química son generalmente de color negro y su olor, aunque puede llegar a ser desagradable, lo es menos que los correspondientes a una

decantación primaria típica. Así mismo, la velocidad de descomposición de los fangos es mucho menor.

- *Fangos de tratamiento secundario.*

Los fangos que proceden del tratamiento secundario, en el caso de fangos activados, son de color marrón, relativamente ligeros, y por estar bien aireados en el caso general, no suelen producir olor con tanta rapidez como los fangos primeros. Sin embargo, si por no estar suficientemente aireados se acercan a las condiciones sépticas, su color se oscurece y producen un olor tan fuerte como el fango primario.

- *Fangos de lechos bacterianos.*

Los fangos procedentes de lechos bacterianos son de color marrón y no producen olores molestos si están frescos.

Se degradan a una velocidad menor de los fangos procedentes del sistema secundario de fangos activados, salvo en el caso de que contengan una preponderancia de organismos superiores (gusanos, por ejemplo), en cuyo caso pueden llegar a dar olores muy rápidamente.

- *Fangos digeridos.*

El fango digerido tiene color entre marrón oscuro y negro, y contiene cantidades relativamente grandes de gas. Cuando está bien digerido prácticamente no produce olor o produce un olor relativamente débil que no es degradable.

(Hernández, 2000.).

4.4.1. Espesado de fangos

Antes de proceder a la eliminación o a la estabilización de los fangos que se han separado del agua residual. Es conveniente, y frecuentemente rentable, proceder al espesamiento de los fangos purgados de los decantadores.

Se obtiene un doble resultado:

- Concentración de los fangos antes de su conducción a vertedero o la digestión. El volumen de fango a transportar o a tratar resulta así mucho menor, con el consiguiente ahorro de volumen en los digestores (menores caudales a tratar y bombear, depósitos más pequeños, menor pérdidas por radiación, aparatos menos costosos).
- Mezcla y homogeneización de los fangos procedentes de distintos decantadores, de gran interés en las plantas que tengan más de un decantador primario.

En las estaciones depuradoras con tratamiento secundario y recirculación de fangos, se puede conducir directamente el exceso de fangos sedimentados en la decantación secundaria a los espesadores, o a los decantadores primarios. En ambos casos se produce la mezcla con los extraídos de la decantación primaria, de forma que el caudal suministrado a digestión es de características homogéneas y tiene la suficiente concentración. (Hernández, 2000.).

Dimensionado

Para el dimensionado de los espesadores es necesario tener en cuenta, conjuntamente, cuatro factores interrelacionados entre sí.

- *Capacidad de espesamiento.*

Expresada en peso de sólidos por unidad de tiempo y superficie libre de espesador (normalmente $\text{kg} / \text{m}^2 / \text{día}$).

- *Velocidad ascensional.*

Influye sobre la forma de la curva de sedimentación, en la capacidad de formación y eliminación de sobrenadantes. Puede resultar valores adecuados para fangos análogos a los anteriores, los comprendidos entre 10 y $30 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{d}$.

- *Altura de espesador.*

Influye directamente sobre la capacidad de espesamiento.

Los valores entre 2.50 y 3 metros suelen resultar los más adecuados, tanto desde el punto de vista técnico como del económico.

- *Tiempo de retención.*

No es significativo como tal, sino en su correspondencia con los anteriores factores. No obstante adquiere caracteres de determinante por encima de un tiempo ($6 - 8$ horas normalmente), en que comienzan las reacciones anaeróbicas en los fangos. No son, por lo tanto, aconsejables tiempos de retención superiores a las 6 horas, sin adoptar medidas contra los olores.

(Hernández, 2000.).

4.4.2. Digestión de fangos.

Digestión aerobia

Se denomina digestión o estabilización aerobia de fangos, a la eliminación en presencia de aire de la parte fermentable de los lodos. Los lodos sometidos a una aireación prolongada, trabajando en la zona denominada de respiración endógena, disminuyen de forma continua por la acción de los microorganismos existentes en el reactor biológico, a la vez que se produce una mineralización de la materia orgánica. Los productos finales de este proceso metabólico son anhídrido carbónico, agua y productos solubles inorgánicos.

Las condiciones de digestión se consiguen con mezcla y aireación en un reactor, similar al de fangos activos, con un tiempo de retención de 12 a 14 días, cuando la temperatura del líquido sea de 20 °C.

En los fangos activos puede considerarse un contenido orgánico del 75 %, representando la parte de materia orgánica degradable el 40 – 45 %. Una perfecta estabilización se corresponderá con una disminución de los sólidos en suspensión del 30 al 35 %.

Necesidades de oxígeno

El consumo de oxígeno en una digestión aerobia es reproducido para el fango biológico, 2 a 4 mg / l por cada g / l de SSV, siendo más importante para los fangos primarios.

(Hernández, 2000.).

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia o anaeróbica de los fangos ha sido universalmente aceptada como el método más adecuado para obtener un producto final aséptico. La descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire. El oxígeno necesario para su desarrollo lo obtienen del propio alimento.

La digestión es un proceso anaeróbico, en el que los materiales de descomposición pasan por varios procesos: licuefacción, gasificación y mineralización, obteniéndose un producto final inerte con liberación de gases.

Durante la gasificación, estos productos se convierten en gases, cuyos principales componentes son el metano y el dióxido de carbono. Finalmente, la materia orgánica soluble es también descompuesta.

La digestión está influenciada por una serie de fenómenos, que determinan su eficacia:

- Temperatura.
- Concentración de sólidos.
- Mezcla del fango.
- pH.
- Ácidos volátiles en los fangos.

4.4.3. Deshidratación de fangos

La eliminación de agua de lodos se consigue en tres escalones: espesado, deshidratación y secado. Para el agua libre e intersticial basta con el espesado de lodos. Para la separación del agua capilar y de adhesión es necesaria una deshidratación, donde se

precisan fuerzas mecánicas en filtros, fuerzas gravitatorias complementarias, centrífugas. Para el agua de adsorción y de constitución se precisan energías térmicas.

La elección del sistema más adecuado dependerá del contenido de materia seca deseado en el lodo final, teniendo en cuenta que, en función del contenido en agua, las características del lodo son distintas.

Eras de secado.

El método consiste en incorporar sobre una balsa con lecho granular y fondo drenado, los lodos que deben estar bien estabilizados. De esta forma se efectúa una primera pérdida de agua por drenaje, a la vez que los lodos van decantando.

Simultáneamente se pierde agua por evaporación.

Las paredes y fondo de las eras se constituyen impermeables. El dren de fondo recoge el líquido drenado para su reincorporación a la línea de agua de la depuradora. La pendiente mínima de los drenes debe ser no inferior al 1 %.

La capa drenante queda constituida por una capa soporte de 20 a 40 cm de grava con granulometría entre 0.3 y 2.3 cm, y una capa verdaderamente drenante de 10 a 20 cm de arena con una granulometría entre 0.3 y 1.2 mm, con coeficiente de uniformidad inferior a 4.

Las eras pueden ser descubiertas, o cubiertas en zonas lluviosas.

El problema fundamental de las eras es la extracción de los lodos una vez han alcanzado la sequedad deseada.

Centrifugación.

El proceso de centrifugación, utilizado desde hace mucho tiempo, se basa en la acción centrípeta para la separación sólido – líquido por diferencia de densidades.

Posible destino de los lodos

La formulación de las políticas alternativas quedan plasmadas tablas que se presentan a continuación, donde aparecen los métodos principales de tratamiento y eliminación de los lodos procedentes de las aguas residuales y de su depuración.

Existen dos soluciones generales básicas: o bien se tiende a una recuperación o bien se tiende a una estricta eliminación sin recuperación alguna. De esta consideración surgen las primeras alternativas en el proceso de lodos que se recogen en las tablas **4.4.3.(1)** y **4.4.3.(2)** respectivamente.

Tabla 4.4.3.(1). SOLUCIÓN A ADOPTAR Y ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO CON RECUPERACIÓN DE FANGOS.

Utilización en agricultura como abono.	Digestión aerobia. Digestión anaerobia.
Recuperación de terrenos agotados.	Digestión aerobia. Digestión anaerobia.
Recuperación de energía eléctrica, mecánica, calorífica.	Incineración.
Compostaje.	Sin digestión.
Fuente: Hernández, A. (2000), “Manual de depuración Uralita”, Thomson Learning, España. p. 150.	

Tabla 4.4.3.(2). SOLUCIÓN A ADOPTAR Y ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO SIN RECUPERACIÓN DE FANGOS.

Vertido al mar.	Sin digestión. Digestión aerobia. Digestión anaerobia.
Vertido a un cauce superficial. Relleno de terrenos, escombreras.	Digestión aerobia. Digestión anaerobia. Sin digestión.
Fuente: Hernández, A. (2000), “Manual de depuración Uralita”, Thomson Learning, España. p. 150.	

Consideraciones prácticas.

La experiencia indica que, por su comparación económica, debe tenderse a la digestión aerobia para núcleos con población equivalente inferior a los 14,000 hab, y a digestión anaerobia para aquéllos con población superior a los 20,000 hab.

La utilización del estiércol como abono en los campos es tan antigua como la ganadería misma, y ya se ha mencionado la utilización para el mismo fin de los desechos humanos. Sin llegar a descubrir la importancia del nitrógeno, fósforo y potasio en el crecimiento de las plantas y de su metabolismo, el hombre ha sabido de la importancia de la utilización de los residuos de los vertidos humanos.

Los conocimientos científicos actuales justifican la utilización y señalan la forma de superar los posibles problemas del vertido sobre el terreno de los lodos procedentes de los vertidos urbanos, problemas tales como presencias de microorganismos patógenos, larvas, ascáridos, etcétera, la existencia de semillas no deseables, la existencia de materiales, etcétera.

Un hecho es cierto y es que la materia incorporada mejora el suelo porque:

- a) Mejora la friabilidad y porosidad del suelo.
- b) Permite una mayor retención de la humedad.
- c) Adiciona al suelo nutrientes necesarios para las plantas, y facilita su retención en el suelo.
- d) Incrementa la actividad biológica del suelo.
- e) Evita o al menos disminuye la necesidad de fertilizantes químicos.

En muchos casos no es solución adicional continuada de fertilizantes químicos, siendo imprescindible la adición de humus conjuntamente con los nutrientes. Ambos elementos se encuentran en los lodos de los vertidos en nuestras ciudades.

Es indudable que el lodo tiene un valor, y no debe olvidarse contemplar esta alternativa de reutilización.

Existen por el contrario, condicionantes a este uso, según ya se ha indicado como:

- Contenido de metales que pueden llevar a valores límites de fitotoxicidad, desconociéndose en muchos casos los efectos reales de concentración de metales depositados en el suelo sobre las plantas.
- Presencia de patógenos y semillas indeseables que pueden hacer inutilizable el lodo en ciertos casos, y exigir algunas técnicas diferenciadas como puede ser digestión anaerobia, tratamiento térmico para esterilización, almacenaje a temperaturas por debajo de 0 °C.

4.5. *Tratamiento terciario*

El tratamiento terciario (al que también se le conoce como *tratamiento avanzado*) es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional descrito en apartados anteriores.

Existen diversas razones por la que es necesario aplicar un tratamiento terciario a un agua residual, una de las principales es la reutilización del recurso

El tratamiento terciario, suele emplearse para eliminar el fósforo, e incluye pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Existen procesos que permiten eliminar más de un 99 % de los sólidos en suspensión y reducir la DBO₅ en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema.

Es probable que en el futuro se generalice el uso de éstos y otros métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización.

En éste apartado se describen los siguientes tipos de tratamiento terciario:

- Eliminación de sólidos en suspensión.
- Adsorción de carbono activo (separación de compuestos orgánicos).
- Intercambio iónico.
- Ósmosis inversa.

- Electrodiálisis.
- Oxidación química (cloración y ozonización).
- Métodos de eliminación de nutrientes (eliminación de nitrógeno y fósforo).

Muchos de estos procesos, actualmente no se emplean demasiado en el tratamiento de las aguas residuales, pero su empleo a mayor escala está previsto conforme las exigencias de la calidad de los efluentes se hagan más estrictas en el futuro.

(<http://www.monografias.com/trabajos5/anagua/anagua.shtml#trata;>

[http://www.hannachile.com/articulos/24/etapas-tratamiento-aguas-servidas.htm;](http://www.hannachile.com/articulos/24/etapas-tratamiento-aguas-servidas.htm)

Ramalho, 1993.).

4.5.1. Eliminación de sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión que no han sido eliminados en las operaciones convencionales de tratamiento primario y secundario pueden constituir una parte importante de la DBO de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Se dispone de los siguientes procesos para la eliminación de estos sólidos en suspensión:

1. Microtamizado.
2. Filtración.
3. Coagulación.

Los *microtamices* se constituyen sobre tambores rotativos. El agua residual se almacena de forma continua en la parte inferior del tambor, fluyendo hasta una cámara de almacenamiento de agua clara en la parte exterior. La limpieza de la superficie interior del tambor se lleva a cabo mediante pulverizadores de agua clara, necesitándose normalmente del orden del 5 % del volumen de alimentación para esta limpieza. Con el microtamizado se consigue eliminaciones del 70 – 90 % de los sólidos en suspensión. Se utiliza normalmente la filtración para conseguir rendimientos en la eliminación de

sólidos en suspensión de hasta el 99 %. Los materiales de relleno de los filtros más empleados son arena, antracita, y tierra de diatomeas. La coagulación se lleva a cabo utilizando sulfato alúmina, polielectrolitos, cal y otros reactivos químicos. (Ramalho, 1993.).

4.5.2. Adsorción de carbono activo

Adsorción es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido. Este fenómeno no tiene lugar cuando se coloca dicha superficie en contacto con una solución. Una capa de moléculas de soluto se acumula en la superficie del sólido debido al desequilibrio de las fuerzas superficiales.

En el interior de sólido, las moléculas están rodeadas totalmente por moléculas similares y por lo tanto sujetas a fuerzas equilibradas. Las moléculas en la superficie están sometidas a fuerzas no equilibradas. Debido a que estas fuerzas residuales son suficientemente elevadas, pueden atrapar moléculas de un soluto que se halle en contacto con el sólido. Este fenómeno se denomina absorción física (o de Van der Waals).

El sólido (por ejemplo, carbón activo) se denomina adsorbente y el soluto a adsorber se denomina adsorbato. La capacidad de adsorción es función de la superficie total del adsorbente, ya que en cuanto mayor sea esta superficie se dispone de mayor número de fuerzas residuales no equilibradas para la adsorción. (Ramalho, 1993.).

4.5.2.1. Los carbones activos como adsorbentes

Los carbones activos, bien granulantes, bien en forma de polvo, se han empleado profusamente como adsorbentes en las plantas de tratamiento de agua para eliminar los

olores y sabores que producen contaminantes. Se prevé que con la atención que se está prestando a las mayores exigencias de calidad de los efluentes, el uso de los carbones activos en el tratamiento terciario de las aguas residuales aumentará considerablemente en el futuro.

- Preparación de los carbones activos.

Los carbones activos se preparan a partir de materias primas carbonosas tales como madera, lignito, carbón y cascara de nuez mediante procesos térmicos que implican la deshidratación y carbonización, seguidos por la aplicación de carbón caliente. Se obtiene una estructura muy porosa con grandes áreas superficiales (tan elevadas como $1000 \text{ m}^2 / \text{g}$).

- Reactivación de los carbonos activos.

La gran ventaja de carbón activo como adsorbente descansa en la posibilidad de reactivación (hasta 30 veces o más) sin pérdida apreciable de poder de adsorción, usualmente la reactivación se lleva a cabo calentando el carbón agotado hasta $930 \text{ }^\circ\text{C}$ aproximadamente en una atmósfera aire – vapor (reactivación térmica). Esta operación puede realizarse en hornos de hogar múltiple o en hornos rotativos. Los productos orgánicos adsorbidos se queman y el carbón activo se restaura básicamente hasta su capacidad inicial de adsorción.

(Ramalho, 1993.).

4.5.2.2. Funcionamiento de la adsorción

En la práctica, la adsorción en carbón activo se lleva a cabo bien en forma continua o bien en forma discontinua. En la operación discontinua, el carbón activo en polvo se mezcla con el agua residual y se deja decantar. La operación continua se lleva a cabo en

columnas conteniendo carbón granulado (de 40 a 80 mallas). Es más económica que la operación discontinua y ha encontrado mayores aplicaciones.

La eliminación de contaminantes en las columnas de carbón activo se lleva a cabo mediante tres mecanismos.

- 1) Adsorción.
- 2) Fijación de partículas grandes.
- 3) Descomposición parcial de materia coloidal.

Los porcentajes de eliminación dependen fundamentalmente del tiempo de contacto ente el agua residual y el carbón activo.

Cuando el agua residual fluye a través de una columna de carbón activo, los contaminantes se separan gradualmente, y el agua residual se va purificando progresivamente conforme desciende a través de la columna. No hay demarcación neta entre el agua purificadora y la alimentación. En lugar de ello, se forma una zona de transición en la cual la concentración de contaminante varía desde un máximo, al final de la zona, hasta prácticamente cero en la parte inicial de la misma. Esta zona es la porción activa de la columna, y se denomina *zona de adsorción*. (Ramalho, 1993.).

4.5.3. Ósmosis inversa

Aunque los fenómenos osmóticos se conocen desde más de 200 años. Los primeros experimentos relacionando la presión osmótica con la temperatura y la concentración del soluto se llevaron a cabo al final del siglo pasado por Pfeffer.

La ósmosis inversa es el nivel de filtración más fino disponible en la actualidad. Una membrana semipermeable actúa como barrera para toda clase de sales disueltas,

moléculas inorgánicas y orgánicas, pirógenos, materias coloidales submicrómicas, virus y bacterias. Se pueden remover entre el 90 y 99 % de los compuestos disueltos, dependiendo del diseño del sistema.

La ósmosis es la difusión natural de moléculas a través de una membrana semipermeable. Cuando se ponen en contacto dos soluciones de diferentes concentraciones separadas por una membrana semipermeable, se genera un flujo desde la solución más diluida a la más concentrada, hasta igualar las concentraciones de ambas.

La presión osmótica es la presión que hay que aplicar a la solución más concentrada para que se detenga el flujo de agua a través de la membrana. En la ósmosis inversa el solvente (agua) pasa de la solución más concentrada a la solución más diluida.

En la práctica la presión utilizada en la ósmosis inversa es entre 5 y 20 veces la presión osmótica. Por ejemplo, una solución con 1,500 ppm de sales tiene una presión osmótica de 1 bar. La presión de filtración de ósmosis inversa varía entonces en función de la cantidad de sales que contenga el agua, del porcentaje de rechazo que se busque, y de la propia tecnología de la membrana.

En forma simplificada, si aplicamos la presión suficiente al agua de alimentación que ingresa en el equipo, se producen dos corrientes de flujo continuo: una de permeado o producto y otra de concentrado o rechazo. La corriente de concentrado, de mayor conductividad eléctrica debido a su contenido de sales es habitualmente descartada, en tanto que el producto será agua prácticamente libre de sales. **(Figura 4.5.3.(1)).**

(http://www.frm.utn.edu.ar/investigacion/compuquim/trat_terciario.html;

Ramalho, 1993.).



FIGURA 4.5.3.(1). LEMNRO, 8" OSMOSIS INVERSA (8040).

La unidad de LemnRO se usan en gran cantidad de industrias, como servicios de potabilización de agua y aplicaciones agrícolas:

- Desalinización de agua de proceso
- Filtración de agua potable
- Purificación de agua potable
- Reducción de TDS y dureza total
- Tratamiento de agua superficial
- Optimización de la calidad del agua potable
- Desalinización de agua para la agricultura o agua de pozos
- Medio Ambiente (Reciclaje y agua de proceso)
- Desalinización
- Nanofiltración (opcional)

Fuente: <http://www.lennotech.com/espanol/Nanofiltracion-y-osmosis-inversa.htm>

4.5.3.1. Pretratamiento del agua para ósmosis inversa

El problema más crítico a enfrentar en la operación de un sistema de ósmosis inversa es la posibilidad de ensuciamiento. Las sustancias que provocan el ensuciamiento se puede clasificar en:

- Hidróxidos metálicos (óxidos de hierro, manganeso).
- Coloides y partículas (sílice).
- Sustancias orgánicas y biológicas.

- Precipitados de sales poco solubles (carbonatos y sulfatos de calcio y magnesio).

Las tres primeras ingresan en el agua de alimentación y además las bacterias pueden tener un desarrollo dentro de los módulos, tanto en la superficie de la membrana como en los sellos y sus alojamientos. El cuarto grupo se debe a la concentración que ocurre dentro del equipo.

La mayoría de las membranas no permiten la presencia de cloro, por lo que será imprescindible su eliminación previa al ingreso del sistema.

Los procedimientos de limpieza química son efectivos para la gran mayoría de las sustancias ensuciantes, pero dicha limpieza no debería transformarse en sustituto de un pretratamiento adecuado. Los limpiadores no son generalmente efectivos en un 100 % e incluso algunos podrían afectar el rechazo de sales de la membrana. Con un adecuado pretratamiento, un equipo de ósmosis inversa, no debería ser limpiado más de una vez al año y la vida de las membranas debería ser de al menos 3 años.

Cualquiera sea el tipo de ensuciamiento, se observarán aumentos en la caída de presión de los módulos de ósmosis.

Los pretratamientos son diseñados para cada equipo y para cada agua en función de sus características físicas, químicas y bacteriológicas. Siempre se aconseja un prefiltrado para cualquier sistema y el mismo puede llegar hasta 1 o 5 micrones.

(http://www.frm.utn.edu.ar/investigacion/compuquim/trat_terciario.html).

4.5.3.2. Preparación de membranas de ósmosis inversa

Muchos materiales naturales tienen características semipermeables. (Figura 4.5.3.2.(1)). Las membranas animales y vegetales son buenos ejemplos. Se han utilizado como materiales semipermeables el colodión, los celofanes, el vidrio poroso, vidrio finamente molido, y precipitados inorgánicos como ferrocianuro de cobre, y fosfatos de zinc y uranilo. Todos éstos, sin embargo, tienen la desventaja de que se producen grietas por lo que presenta una selectividad de corta duración y una baja uniformidad de producción.

Las membranas de acetato de celulosa (a partir de aquí denominadas membranas AC) son las mejores membranas semipermeables desarrolladas hasta la fecha. Sourirajan, Agrawal y Loeb desarrollaron la técnica para la preparación de membranas AC con permeabilidades elevadas y gran rendimiento en la separación de solutos a partir de soluciones acuosas de cloruro sódico. Su técnica es como se describe a continuación.



FIGURA 4.5.3.2.(1). MEMBRANAS PARA TRATAMIENTO DE AGUA.

Las membranas de OSMOSIS INVERSA (RO), ULTRAFILTRACIÓN (UF), NANOFILTRACIÓN (NF) y MICROFILTRACIÓN (MF) ofrecen muchas ventajas contra tratamientos de agua convencionales: Tecnología de primer nivel, "Tratamiento Limpio" ya que casi hace desaparecer el uso de químicos en la operación, reduce importantes costos de operación y disposición, sistemas automatizados, mediciones más controladas y confiables, espacios reducidos, flujos y calidades constantes y muchos otros fácilmente verificables. Ya sea en reemplazo de membranas o con un sistema nuevo su Empresa conocerá las ventajas de las nuevas tecnologías en tratamientos de agua. Existen para todos tipos de aplicaciones: Agua residual, para proceso, pura, ultrapura, potable, sanitaria, biológica, municipal y para todos los flujos.

Fuente:

<http://www.acsmedioambiente.com/equipos/nanofiltracion.htm>

1) *Etapa de formación.*

La disolución de formación de la película contiene acetato de celulosa disuelto en acetona, a la que se añade un aditivo soluble en agua y que no afecte la solubilidad del acetato de celulosa en acetona (por ejemplo perclorato magnésico). Con esta solución se forman las membranas sobre superficies planas o tubulares (por ejemplo placas de vidrio o superficies tubulares), A temperatura ambiente o a temperaturas inferiores (≈ 10 °C). Uno de los avances más significativos en el campo de la tecnología de las membranas AC es su desarrollo en forma tubular. Las membranas de forma tubular van provistas de un revestimiento de tubo poroso de fibra de vidrio reforzada.

2) *Etapa de evaporación.*

Después de la formación, parte del disolvente (acetona) se evapora de la superficie de la membrana a la temperatura de formación.

3) *Etapa de gelatinización.*

La membrana se sumerge en agua helada al menos durante una hora. La película forma un gel, del que se desprende el aditivo (por ejemplo, perclorato magnésico) y el disolvente (acetona) dando lugar a una película rígidamente sólida sobre la superficie plana o tubular.

4) *Etapa de concentración.*

Las membranas procedentes de la etapa de gelatinización presentan poros demasiado grandes para permitir una operación eficaz (diámetro ≈ 400 Å). Estos grandes poros son el resultado del proceso de lixiviación. Por ello la membrana recibe un tratamiento térmico para disminuir su volumen en un baño de agua caliente durante 10 minutos aproximadamente. Ajustando la temperatura del agua caliente es posible obtener distintas porosidades, con las que se pueden obtener diferentes grados de separación de las aguas residuales. Las temperaturas

más altas del agua caliente (el intervalo normal es de 70 – 98 °C) producen poros más pequeños.

(Ramalho, 1993.).

4.5.3.3. Observaciones finales sobre la ósmosis inversa

En resumen, las aplicaciones de la ósmosis inversa son:

Ablandamiento del agua

Producción de agua potable

Producción de agua procesada

Producción de agua ultrapura (industrias electrónicas)

Concentración de solventes moleculares para industrias alimentarias y lácteas

La ósmosis inversa es todavía muy cara para una utilización universal en el tratamiento de las aguas residuales. Está también limitada al tratamiento de residuos solubles ya que los sólidos en suspensión taponan las membranas. En consecuencia, se necesita el tratamiento previo de la alimentación cuando haya sólidos en suspensión, aumentando así los costes.

(<http://www.lenntech.com/espanol/Nanofiltracion-y-osmosis-inversa.htm>).

4.5.4. Electrodialisis

La electrodialisis se desarrolló para la desalación del agua de mar. Es un método prometedor de eliminación de nutrientes inorgánicos (fósforo y nitrógeno) de las aguas residuales y, por ello, una posible etapa final en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Los principales componentes básicos de una celda de electrodiálisis son una serie de membranas hechas de resina de intercambio iónico. Estas membranas son permeables sólo a las especies iónicas y son relativamente selectivas de un tipo específico de iones.

Existen dos tipos de membranas utilizadas en las celdas de electrodiálisis:

- Membranas catiónicas, que poseen una carga fija negativa, permitiendo a los cationes (iones positivos) pasar a través de ellas pero repeliendo a los aniones (cargas negativas).
- Membranas aniónicas, que poseen una carga positiva fija, permitiendo el paso de los aniones (iones negativos) a través de ellas pero repeliendo a los cationes (iones positivos).

El paso de los iones a través de las membranas se acelera por la aplicación de una tensión constante a lo largo de una serie de membranas permeables al catión y al anión. El cátodo y el ánodo se colocan en los dos extremos de la celda de forma tal que la membrana más próxima al cátodo sea permeable a los cationes y la más próxima al ánodo sea permeable a los aniones. El agua residual cruda se alimenta continuamente en los compartimentos de concentración y el agua residual tratada se extrae continuamente de los compartimentos de la dilución.

Para un funcionamiento adecuado de la celda de electrodiálisis, la materia en suspensión, los iones orgánicos de gran tamaño y la materia coloidal deben separarse antes del proceso. Si esto no se hace, estos materiales pueden provocar el ensuciamiento de la membrana, lo que a un aumento de la resistencia eléctrica total. Para una tensión constante aplicada, la corriente que pasa a través de la celda disminuye. Por lo tanto, la capacidad desmineralizadora del equipo disminuye también ya que según la ley de Faraday hay migración de un equivalente – gramo de una especie iónica por amperio por segundo aplicado.

El ensuciamiento de las membranas es el mayor problema a superar con objeto de alcanzar el funcionamiento económico de la electrodiálisis en el tratamiento de las aguas residuales. El ensuciamiento se disminuye mediante:

1. El tratamiento del agua residual cruda con objeto de separar la materia en suspensión coloidal y los iones orgánicos de gran tamaño. Esto se realiza mediante la adición de coagulantes, la filtración a través de microfiltros y / o la adsorción en columnas de carbón activo. El coste de este tratamiento puede hacer que el proceso resulte antieconómico.
2. El ensuciamiento se disminuye mediante la parada periódica de la planta para limpieza.
3. La inversión frecuente de la corriente tiende a minimizar los efectos de ensuciamiento.

(Ramalho, 1993.).

4.5.5. Cloración

El cloro y sus compuestos son uno de los compuestos mayormente usados. Los compuestos de cloro más utilizados son el cloro gas (Cl_2), el hipoclorito sódico (NaOCl) y el dióxido de cloro (ClO_2).

El cloro gas de color amarillo verdoso, sofocante, soluble en agua en la proporción de tres volúmenes de gas en uno de agua a la presión y temperatura ordinarias (se denomina agua de cloro). El agua de cloro es un oxidante energético. Lentamente, en la oscuridad y con mayor rapidez bajo la acción de la luz, el agua de cloro se descompone, dismutándose el cloro en cloruro e hipoclorito (o ácido hipocloroso).

El ácido hipocloroso tiene una efectividad como desinfectante de 40 a 80 veces mayor que el hipoclorito. Si se utilizan sales de hipoclorito en lugar de cloro gas, la hidrólisis de esta sal, depende del pH del medio y es a $\text{pH} < 7.5$ cuando la reacción de hidrólisis será importante, transformándose el hipoclorito en ácido hipocloroso.

A la cantidad de ácido hipocloroso y anión hipoclorito presentes en las aguas se la conoce con el nombre de cloro libre disponible.

La cloración es un proceso muy usado en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas. Algunos efluentes industriales que normalmente se cloran antes de su descarga a las aguas receptoras son los procedentes de las plantas de azúcar de caña. De azúcar de remolacha, de centrales lecheras, de las fábricas de pasta y papel, de las plantas textiles, de las de curtido, de las petroquímicas, de las farmacéuticas, y de las de acabado superficial de los metales (cromado, electrodeposición, etcétera).

Los objetivos de la cloración se resumen como sigue:

1. *Desinfección.*

Fundamentalmente el cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de las bacterias y algas.

2. *Reducción de la DBO.*

El cloro produce una reducción de la DBO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.

3. *Eliminación o reducción de colores y olores.*

Las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante el cloro. La capacidad oxidante del cloro se emplea para el control y la eliminación del color en muchos tratamientos industriales (azúcar de caña, industrias de conservas, centrales lecheras, pasta y papel, textiles, etcétera.).

4. *Oxidación de los iones metálicos.*

Los iones metálicos que están presentes en forma reducida se oxidan por el cloro (por ejemplo, ferroso a férrico y manganosos a mangánico).

5. Oxidación de los cianuros o productos inocuos.

Esto se lleva a cabo en un medio alcalino con valores de pH superiores a 8.5.

(Ramalho, 1993; Romero, 1999.).

4.5.5.1. Cloro como desinfectante

La dosis típica de cloro requeridas para desinfección se presentan en la **Tabla 4.5.5.(1)**. La efectividad del cloro para matar las bacterias viene dada por la ley de Chick.

La ley de Chick es una representación idealizada de la situación. Normalmente las condiciones ideales no existen debido a variaciones en la resistencia de las células, disminución de la concentración de lodo, etcétera. Las velocidades de eliminación algunas veces aumentan o disminuyen con el tiempo. (Ramalho, 1993.).

TABLA 4.5.5.1.(1). DOSIS TÍPICA DE CLORO EN DESINFECCIONES.

Efluente de:	Intervalo de dosificación (mg / l)
Aguas residuales sin tratar (precloración).	6 – 25
Sedimentación primaria.	5 – 20
Planta de precipitación química.	2 – 6
Filtro precolador.	3 – 15
Lodo activo.	2 – 8
Filtro múltiple seguido de planta de lodos activos.	1 – 5

Fuente: Ramalho, R. (1993), "Tratamiento de aguas residuales", Thomson Reverté, España. p. 639.

4.5.5.2. Economía de la cloración

Aunque el empleo de la cloración está muy extendido, debe anotarse que el cloro es un producto químico relativamente caro. Si la economía tiene importancia en una

aplicación dada, deben evaluarse otros métodos. Se han empleado en la desinfección de las aguas los óxidos de cloro (Cl_2O , Cl_2O_5 , ClO_7). (Ramalho, 1993.).

4.5.6. Ozonización

El ozono tiene básicamente dos aplicaciones importantes en el tratamiento de aguas residuales (que son iguales a las del cloro): desinfección y eliminación de materia orgánica refractaria.

El ozono es un elemento oxidante con propiedades bactericidas similares al cloro. Al añadir ozono al agua se convierte en oxígeno, en consecuencia, no se obtiene en el efluente tratado ningún compuesto químico residual que pueda requerir su eliminación. No se produce sólidos en disolución, no reacciona con el amoníaco y no depende del pH del agua tratada; por otra parte introduce oxígeno en el agua residual tratada. Puede ser una alternativa a la cloración, fundamentalmente en plantas de tratamiento de fangos activados con oxígeno puro y cuando las aguas tratadas de la ozonificación de las aguas son su coste con relación al cloro y que no deja una desinfección residual (caso del cloro, el cloro residual libre).

El ozono puede utilizarse para reducir la materia orgánica residual, procedente de los tratamientos biológicos, que están constituida generalmente por compuestos orgánicos complejos. Cuando se utiliza el ozono para la destrucción de la materia orgánica refractaria, la desinfección es un beneficio adicional.

La oxidación química con ozono es un método efectivo para tratar las aguas residuales, basándose en los siguientes factores:

1. El ozono reacciona fácilmente con los productos orgánicos no saturados presentes en las aguas residuales.

2. La tendencia a la formación de espuma de las aguas residuales se reducen después del tratamiento con ozono.
3. La ruptura de los anillos y la oxidación parcial de los productos aromáticos deja a las aguas residuales más susceptibles de tratamiento convencional biológico.
4. El ozono presente en el efluente se convierte rápidamente a oxígeno una vez que ha servido a sus fines. Este oxígeno es beneficioso para las corrientes receptoras y ayuda a mantener la vida acuática. Por el contrario, el cloro (que es el agente más ampliamente usado para eliminación de bacterias) permanece en el efluente y se convierte en contaminante

(Ramalho, 1993; Romero, 1999.).).

4.5.7. Eliminación del fósforo

La eliminación de nutrientes (compuestos de fósforo y nitrógeno) de las aguas residuales es una operación importante, debido a que estos productos juegan un papel crítico en la eutrofización. Se ha acentuado el interés en la eliminación de fósforo últimamente por dos razones:

1. El fósforo es el nutriente más crítico
2. Los procesos de eliminación de nitrógeno son menos eficaces y más caros. La mayoría de los procesos de tratamiento para la eliminación de nutrientes que se encuentran en funcionamiento hoy en día están proyectados para la eliminación de fósforo exclusivamente.

(Ramalho, 1993.).).

4.5.7.1. Procesos de eliminación de fósforo

Los procesos para la eliminación de fósforo son, entre otros:

- Precipitación química.
- Proceso de lodos activos.
- Balsas de estabilización.
- Ósmosis inversa y electrodiálisis

(Todos estos procesos han sido descritos en apartados anteriores).

El proceso de lodos activos, aunque pensados primariamente para la separación de compuestos orgánicos, puede utilizarse en la eliminación tanto del fósforo como el nitrógeno, ya que las células biológicas contienen aproximadamente el 2 % de fósforo y el 12 % de nitrógeno en peso. En una planta típica de lodos activos, el crecimiento microbiano es responsable de una reducción de 10 a 30 % del fósforo en el afluente, dependiendo de la edad de lodos utilizada en la operación. Aproximadamente 1.0 mg / l de fósforo es eliminado por cada 100 mg / l de la DBO₅ soluble separada. Sin embargo, en algunas plantas de tratamiento biológico, se logran eliminaciones de fósforo superiores a las requeridas para la síntesis de la biomasa. Los términos *asimilación en exceso* y *separación incrementada* de fósforo son utilizados para describir este fenómeno. La asimilación en exceso es la base de varios procesos comerciales, que son ahora de uso corriente en la tecnología de eliminación de fósforo.

Las balsas de estabilización conducen a eliminaciones relativamente elevadas de nitrógeno, siempre que las condiciones de luz y temperatura sean favorables al crecimiento de las algas. Durante el verano, pueden alcanzarse separaciones de aproximadamente 80 %, mientras que en invierno este rendimiento puede descender al 20 % o menos. La ósmosis inversa o la electrodiálisis son todavía demasiado costosas para un uso generalizado.

La operación de precipitación se lleva normalmente a cabo dentro del proceso de tratamiento y se resume en tres operaciones alternativas de precipitación para la eliminación de fósforo dentro de una planta de lodos activos.

- *Alternativa 1.* Precipitación en el clarificador primario.

El agente de precipitación, normalmente una combinación de cloruro férrico y cal con las dosis típicas indicadas anteriormente, se añade al agua residual cruda, precipitándose los fosfatos y separándose en el clarificador primario. La eliminación del fósforo es del 90 – 95 % y se obtiene una cantidad considerable de lodo. La adición de cal en este proceso aumenta el pH del efluente del clarificador primario cerca del 10.0. Esto no es un obstáculo para el adecuado funcionamiento del proceso biológico en el reactor, que requiere un pH casi neutro. La capacidad natural de tampón del proceso de lodos activos es suficiente para proporcionar la neutralización requerida debido a la producción de dióxido de carbono.

- *Alternativa 2.* Precipitación simultáneamente.

El agente de precipitación se añade directamente al tanque de aireación. El precipitado decanta en el clarificador secundario junto con el lodo activo. Parece ser que los reactivos químicos producen daño a largo plazo a las células biológicas, y que su rendimiento en la separación de productos orgánicos queda disminuido en alguna extensión. Por otra parte, la adición de los reactivos químicos mejora la decantación y compactación del lodo activo en el clarificador secundario

- *Alternativa 3.* Precipitación sucesiva.

Los reactivos químicos para la precipitación se añaden al efluente del clarificador secundario. Se requiere un clarificador adicional para separar los fosfatos precipitados con lo cual se aumentan los coste del inmovilizado. Por otra parte, los rendimientos obtenidos en la eliminación del fósforo son algo superiores a los de las dos alternativas anteriores.

(Ramalho, 1993.).

4.5.8. Eliminación del nitrógeno

Existen varias razones importantes que justifican la eliminación de los compuestos de nitrógeno de las aguas residuales antes de su descarga a los cauces receptores. Estas razones son las siguientes:

1. El nitrógeno, junto con el fósforo, juega un papel importante como nutriente en el proceso de eutrofización.
2. Los compuestos nitrogenados exigen una demanda de oxígeno. Los compuestos orgánicos de nitrógeno en las aguas residuales, bajo condiciones ambientales favorables, se convierten en nitrógeno amoniacal.
3. La presencia del nitrógeno en un agua residual conduce a la formación de cloraminas y tricloruro de nitrógeno por reacciones con cloro utilizado como desinfectante. Como estos compuestos tienen un poder desinfectante considerablemente inferior al del propio cloro, esta situación resulta indispensable. Más aún, las cloraminas y el tricloruro de nitrógeno pueden ser responsables de olores y sabores desagradables en las aguas potables.
4. Conforme las reglamentaciones ambientales se hacen más estrictas, se hace más necesaria la eliminación de los compuestos nitrogenados de las aguas residuales con objeto de cumplir los estándares de calidad del efluente.

4.5.8.1. Proceso de nitrificación – desnitrificación

El proceso principal encaminado específicamente a la eliminación del nitrógeno es el de nitrificación – desnitrificación, el cual es una modificación del proceso convencional de lodos activos y tiene lugar en dos fases: nitrificación y desnitrificación.

1. Fase de nitrificación.

La nitrificación es el proceso en el que el nitrógeno orgánico y amoniacal se oxida, transformándose primero en nitrito y, posteriormente en nitrato.

Estas reacciones las llevan a cabo bacterias muy especializadas, diferentes de aquellas que se encargan de degradar la materia orgánica del medio.

Este tipo de bacterias, se reproducen mas lentamente y son muy sensibles a los cambios de su medio habitual.

A su vez, necesitan de un aporte de Oxígeno suplementario para que sean capaces de desarrollar las reacciones anteriormente mencionadas, de esta forma en las cubas de aireación de fangos activados necesitan de un nivel de oxígeno de al menos 2 mg / l.

2. Fase de desnitrificación.

La desnitrificación consiste en el paso de los nitratos a nitrógeno atmosférico, por la acción de un grupo de bacterias llamadas desnitrificantes. Dicha forma de nitrógeno tenderá a salir a la atmósfera, consiguiéndose así, la eliminación de nitrógeno en el agua. Para que las bacterias desnitrificantes actúen, es necesario que el agua tenga bastante carga de materia orgánica, una fuente de nitratos elevada, muy poco oxígeno libre y un pH situado entre 7 y 8.

El oxígeno asociado a los nitratos es la única fuente de oxígeno necesaria para llevar a cabo sus funciones vitales. De esta forma los niveles de oxígeno libre en el medio donde actúan deben de ser inferiores a los 0.2 mg / l.

Es interesante comentar que el tiempo mínimo de contacto entre el agua y las bacterias desnitrificantes debe de ser suficiente para que se produzcan las reacciones deseadas, estimándose un tiempo mínimo de 1.5 horas a caudal medio.

(Ramalho, 1993; Romero, 1999.).

CONCLUSIONES

En esta monografía se compiló información acerca de las principales características y propiedades del agua así como de las aguas residuales; también se explicaron en forma sintetizada cada uno de los tipos y niveles de tratamiento aplicables al agua residual con el fin de brindarle al interesado en esta temática y como anteriormente se dijo, a los estudiantes de la materia de Ingeniería Ambiental de la Licenciatura en Ingeniería Industrial, información acerca del tema de tratamiento de aguas. Cumpliendo así con el objetivo de la misma.

Se considera importante al tratamiento de aguas residuales como una respuesta de gran peso a la problemática que se vive hoy en día sobre la contaminación del ambiente.

El tema de la contaminación y la escasez de agua ha ocurrido en el pasado, ocurre actualmente y con seguridad se agravará en un futuro cercano.

El consumo de este recurso aumentará, las fuentes serán cada vez más escasas y en consecuencia, los vertidos aumentarán no únicamente en cantidad, sino también en su composición debido a que su concentración de carga contaminante y sus componentes serán cada vez más nocivos y más difíciles de tratar. Además las normas y requisitos ambientales serán justificablemente más estrictos.

Por éstas y muchas otras razones es imperioso para nosotros como personas y como ingenieros industriales darnos a la tarea de hacer del tratamiento de aguas y de otros proyectos ambientalistas una práctica habitual, no sólo para cumplir con un requisito más, sino con una conciencia plena de que ocuparnos en ello es ocuparnos en nuestro propio bienestar y en el bienestar de nuestro planeta. Principalmente, porque contamos con la capacidad y con las herramientas necesarias para concretar y llevar a cabo este desafío.

CIBERGRAFÍA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hernández, A. (2000). “Manual de depuración Uralita”. España: Thompson Learning

Ramalho, R. (1993). “Tratamiento de aguas residuales”. España: Reverté.

Romero, J. (1999). “Calidad del agua”. México: Alfaomega. (1)

Romero, J. (1999). “Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización”. España: Alfaomega. (2)

Sans, R. (1999). “Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos”. México: Alfaomega

“Distribución global del agua”. (2007). Estados Unidos.

Disponible en:

<http://www.ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>.

Fecha de consulta: julio de 2007.

“Aguas continentales y oceánicas (Monografía)”. (2007). México.

Disponible en:

<http://www.monografias.com/trabajos12/contagua/contagua.shtml>.

Fecha de consulta: julio de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Océano”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

<http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Océano>.

Fecha de consulta: julio de 2007.

“Biósfera”: Agua en la vida. (2006). México.

Disponible en:

http://www.portal.huascar.edu.pe/modulos/m_agua1.0/index.htm.

Fecha de consulta: julio de 2007.

Palma, Alejandro. (2007). **“Estudios de Aguas Continentales”**. Chile: Universidad Autónoma de Chile.

Disponible en:

<http://www2.udec.cl/~lpalma/index.html>.

Fecha de consulta: agosto de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Aguas Continentales”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_continenciales&oldid=16426450.

Fecha de consulta: agosto de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Agua potable”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_potable&oldid=16476481.

Fecha de consulta: septiembre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Agua de mar”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/wiki/Agua_de_mar.

Fecha de consulta: septiembre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Agua salobre”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_salobre&oldid=16403206.

Fecha de consulta: septiembre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Agua salada”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/wiki/Agua_salada.

Fecha de consulta: septiembre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Agua dulce”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_dulce&oldid=16282729.

Fecha de consulta: septiembre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Agua dura”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_dura&oldid=16137497.

Fecha de consulta: septiembre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Agua blanda”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_blanda&oldid=15863299.

Fecha de consulta: septiembre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Aguas negras”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_negras&oldid=16312989.

Fecha de consulta: septiembre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Aguas grises”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_grises&oldid=15386313.

Fecha de consulta: octubre de 2007.

“Otros tipos de aguas”. (2007).

Disponible en:

http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=17439_208&ID2=DO_TOPIC.

Fecha de consulta: octubre de 2007.

“Distribución molecular de los distintos estados físicos del agua”. (2007).

Disponible en:

<http://www.iquimica.blogspot.com/2006/04/estados-fsicos-del-agua.htmlEstados-fsicos-del-agua>.

Fecha de consulta: octubre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Estado sólido del agua”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

<http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua&oldid=16321984>.

Fecha de consulta: octubre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Plasma (estado de la materia)”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Plasma_%28estado_de_la_materia%29&oldid=16524075.

Fecha de consulta: octubre de 2007.

Sánchez, F. (2004). **“El Ciclo Hidrológico”**. Depto. Geología Universidad Salamanca España.

Disponible en:

<http://www.usal.es.com/javisan/hidro>.

Fecha de consulta: octubre de 2007.

“El Ciclo del Agua”. (2007). Estados Unidos.

Disponible en:

<http://www.ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>.

Fecha de consulta: octubre de 2007.

Almudena. **“Propiedad físicas y químicas del agua (Monografía)”**. (2007). España.

Disponible en:

<http://www.html.rincondelvago.com/agua.html>.

Fecha de consulta: octubre de 2007.

Schaefer, C. **“Oxígeno Disuelto”**. (2007). Estados Unidos de América: The Center for Innovation in Engineering and Science Education.

Disponible en:

<http://www.ciese.org/curriculum/dipproj2/es/fieldbook/oxigeno.shtml>.

Fecha de consulta: noviembre de 2007.

Pujol, C. **“Análisis Bacteriológico del aguas ”**. (2007). Argentina: Departamento de Química Biológica.

Disponible en:

<http://www.qb.fcen.uba.ar/microinmuno/SeminarioAguas.htm>.

Fecha de consulta: noviembre de 2007.

Almudena. **“Contaminación del agua (Monografía)”**. (2007).

Disponible en:

http://www.rincondelvago.com/contaminacion-del-agua_4.html.

Fecha de consulta: noviembre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007). **“Contaminación del agua freática o subterránea”**. Wikipedia, Enciclopedia libre.

Disponible en:

http://www.es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea#Contaminaci.C3.B3n_del_agua_subterr.C3.A1nea#Contaminaci.C3.B3n_del_agua_subterr.C3.A1nea.

Fecha de consulta: noviembre de 2007.

Lomelí, M. **“¿Por qué degradar la naturaleza?”**. (2007). México: UNAM.

Disponible en:

<http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>.

Fecha de consulta: noviembre de 2007.

Rodríguez, B. **“Contaminación del agua (monografía)”**. (2007).

Disponible en:

<http://www.monografias.com/trabajos12/contagua/contagua.shtml> fecha.

Fecha de consulta: noviembre de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007) **“Ingeniería de aguas residuales / Pretratamiento”**. Wikilibros, Colección de libros de contenido libre.

Disponible en:

http://www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento

Fecha de consulta: marzo de 2007.

Colaboradores de Wikipedia. (2007) **“Ingeniería de aguas residuales / Tratamiento Primario”**. Wikilibros, Colección de libros de contenido libre.

Disponible en:

[http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Tratamiento primario](http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Tratamiento_primario)

Fecha de consulta: marzo de 2007.

“Depuración de aguas”. (2006).

Disponible en:

<http://www.ddhhup5.blogspot.com/2006/10/aguas-servidas-y-su-legislacin-por.html>.

Fecha de consulta: marzo de 2007.

Bujan D. (2007). **“Análisis del agua (Monografía)”**.

Disponible en:

<http://www.monografias.com/trabajos5/anagua/anagua.shtml#trata>

Fecha de consulta: marzo de 2007.

Vallejos S. (2004). **“Tratamiento primario de las aguas”**. Chile.

Disponible en:

<http://www.hannachile.com/articulos/24/etapas-tratamiento-aguas-servidas.htm>.

Fecha de consulta: marzo de 2007.

“Tratamiento terciario”. (2004).

Disponible en:

http://www.frm.utn.edu.ar/investigacion/compuquim/trat_terciario.html

Fecha de consulta: marzo de 2007.

“Nanofiltración y ósmosis inversa”. (2008). Holanda: Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V. Rotterdamseweg.

Disponible en:

<http://www.lenntech.com/espanol/Nanofiltracion-y-osmosis-inversa.htm>.

Fecha de consulta: abril de 2007.

“Tratamiento de aguas residuales”. (2008). GRUPOTAR

Disponible en:

<http://tar5.eup.us.es/master/formacion/edar/temario/cabecera-edar.htm>.

Fecha de consulta: abril de 2007.

“Tratamiento de aguas residuales”. (2008). GRUPOTAR

Disponible en:

<http://tar5.eup.us.es/master/formacion/edar/temario/cabecera-edar.htm>.

Fecha de consulta: abril de 2007.

“EDAR, estación depuradora de aguas residuales.”. (2007). Grupo Santillana

Disponible en:

<http://www.kalipedia.com>

Fecha de consulta: abril de 2007.

APÉNDICES

Apéndice A. Ley Federal de Derecho / Agua: Tema 11. Derechos por el uso del agua

Tema 11. Derechos por el uso de agua

Los derechos que deben pagar los usuarios a la Federación por el uso, aprovechamiento o explotación de las aguas de propiedad nacional y sus bienes inherentes se establecen en la Ley de Aguas Nacionales y en la Ley Federal de Derechos.

En estas leyes se instituye que los usuarios deben pagar por:

- Uso, aprovechamiento o explotación de las aguas de propiedad nacional.
- Extracción de materiales pétreos de cauces, vasos y depósitos de propiedad nacional.
- Utilización de terrenos de zona federal, de cauces y vasos de propiedad nacional
- Por la expedición de los títulos y permisos para realizar las actividades anteriores, así como por la inscripción de títulos y permisos en el Registro Público de Derechos de Agua (Repda).

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, la Comisión Nacional del Agua tiene entre otras, las siguientes atribuciones:

- Requerir al usuario la presentación de sus declaraciones sobre el uso, aprovechamiento o explotación de aguas nacionales y sus bienes inherentes; así como comprobar el cumplimiento de sus obligaciones.
- Determinar qué contribuciones han sido omitidas.
- Autorizar el pago de contribuciones a plazos.
- Determinar los pagos y en su caso, multas procedentes.

11.1. Pago de derechos por el uso, explotación o aprovechamiento del agua

Están obligadas al pago de derechos por el uso de las agua nacionales, las personas físicas y morales que usen, exploten o aprovechen aguas de propiedad nacional, ya sea de hecho o de derecho, es decir, que cuenten o no con un título de concesión o de asignación.

El pago que deben realizar los usuarios por utilizar aguas de propiedad nacional, ya sean superficiales o del subsuelo, está en función del uso que se dará al agua y de la zona de disponibilidad en que se efectuará la extracción.

Al respecto, el país se ha dividido en zonas de disponibilidad, en cada una de las cuales se establece el monto del derecho a pagar, siendo menor el pago por metro cúbico de agua utilizada en las zonas con mayor abundancia.

Todos los usuarios deben pagar un derecho por la utilización del agua, excepto los casos que menciona la propia Ley Federal de Derechos, dentro de los que destacan los siguientes:

- Por el uso o aprovechamiento de aguas en comunidades rurales de hasta 2,500 habitantes.
- Por el uso agropecuario, incluyendo a los Distritos y Unidades de Riego, excepto el agua adicional a la concesionada y el agua empleada en la agroindustria.

11.2 Pago por el uso de zonas federales y extracción de materiales pétreos

En la Ley Federal de Derechos se establece el pago que debe efectuar el usuario por la ocupación de la zona federal que en su caso le sea autorizada, el cual depende del tipo de uso que se dará a los terrenos.

En el caso de la extracción de materiales pétreos de los cauces o vasos de propiedad nacional, el pago se efectúa por metro cúbico, según el tipo de material autorizado en el título de concesión correspondiente, por ejemplo, grava, arena y piedra, de acuerdo al monto establecido en la Ley para cada tipo de material.

11.3 Pago de derechos por descarga de aguas residuales a cuerpos receptores

Están obligadas al pago del derecho las personas físicas y morales que descarguen en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua de propiedad nacional, en los suelos o las infiltren en terrenos, o que puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos.

El monto de los derechos se determina en función del cauce o cuerpo receptor al que se vierten las descargas, así como del volumen de aguas residuales descargadas y la clase y cantidad de contaminantes en lo que se rebasen los límites máximos permisibles.

Dentro de las excepciones que por concepto del pago de descargas establece la Ley Federal de Derechos, destacan las siguientes:

- Cuando la descarga de contaminantes no rebasa los límites máximos permitidos en la Ley.
- Para aquellas comunidades rurales cuya población sea igual o menor a 2,500 habitantes.
- Para las descargas provenientes del riego agrícola.

Mensaje final

El pago de los derechos que establece la Ley contribuye a crear conciencia entre los usuarios sobre la importancia del buen uso del agua y generar recursos económicos que son aplicados en la administración y preservación del agua en el desarrollo del Sector Hidráulico.

De manera similar, el pago de derechos por descarga de aguas residuales a los cuerpos receptores tiene como fin crear conciencia entre los usuarios de la importancia de la preservación del medio ambiente y su objetivo principal es evitar la contaminación.

Fecha de actualización: Septiembre de 2004.

(http://www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=11036767981Final_Tema_11_Derechos_por_el_uso_de_agua_300904.doc)

Apéndice B. Norma Oficial Mexicana: NOM-003-ECOL-1997

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

(Publicada en el D.O.F. de fecha 21 de septiembre de 1998)

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5° fracciones V y XI, 6o, 36, 37, 37 Bis, 117, 118 fracción I, 119, 121, 126, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 118 fracción III y 122 de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

C O N S I D E R A N D O

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de enero de 1998, a fin de que los interesados, en un plazo de 60 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, Mezaninne planta alta, colonia Tlacopac, Delegación Álvaro Obregón, código postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de agosto de 1998.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de normas oficiales mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 22 de abril de 1998, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

ESPECIFICACIONES

Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

T A B L A 1
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	£ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	£ 5	15	30	30

- La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana.
- El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta Norma.
- Las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reusen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas en los términos de la presente Norma Oficial Mexicana y de conservar al menos durante los últimos tres años los registros de la información resultante del muestreo y análisis, al momento en que la información sea requerida por la autoridad competente.

MUESTREO

Los responsables del tratamiento y reuso de las aguas residuales tratadas, tienen la obligación de realizar los muestreos como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-003, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. La periodicidad y número de muestras será:

- Para los coliformes fecales, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno₅, sólidos suspendidos totales y grasa y aceites, al menos 4 (cuatro) muestras simples tomadas en días representativos mensualmente.
- Para los huevos de helminto, al menos 2 (dos) muestras compuestas tomadas en días representativos mensualmente.
- Para los metales pesados y cianuros, al menos 2 (dos) muestras simples tomadas en días representativos anualmente.

MÉTODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deben aplicar los métodos de prueba indicados en las Normas Mexicanas a que se refiere el punto 2 de esta Norma. Para coliformes fecales, el responsable del tratamiento y reuso del agua residual, podrá realizar los análisis de laboratorio de acuerdo con la NMX-AA-102-1987, siempre y cuando demuestre a la autoridad competente que los resultados de las pruebas guardan una estrecha correlación o son equivalentes a los obtenidos mediante el método de tubos múltiples que se establece en la NMX-AA-42-1987. El responsable del tratamiento y reuso del agua residual, puede solicitar a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, éstos pueden ser aplicados por otros responsables en situaciones similares. Para la determinación de huevos de helminto se deben aplicar las técnicas de análisis que se señalan en el anexo 1 de esta Norma.

GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y LINEAMIENTOS INTERNACIONALES Y CON LAS NORMAS MEXICANAS TOMADAS COMO BASE PARA SU ELABORACIÓN

7.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente; tampoco existen normas mexicanas que hayan servido de base para su elaboración.

OBSERVANCIA DE ESTA NORMA

- La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Salud, en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General de Salud y demás ordenamientos jurídicos aplicables.
- La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**. Las plantas de tratamiento de aguas residuales referidas en esta Norma que antes de su entrada en vigor ya estuvieran en servicio y que no cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en ella, tendrán un plazo de un año para cumplir con los lineamientos establecidos en la presente Norma.

México, Distrito Federal, a los diecisiete días del mes de julio de mil novecientos noventa y ocho.

Fuente: Secretaria De Medio Ambiente, Recursos Naturales Y Pesca.

**Apéndice C. Norma Oficial Mexicana Nom-041-Ssa1-1993, Bienes Y Servicios.
Agua Purificada Envasada. Especificaciones Sanitarias**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-
Secretaría de Salud.

JOSE MELJEM MOCTEZUMA, Director General de Control Sanitario de Bienes y Servicios, por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 38, fracción II, 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 8o. fracción IV y 13 fracción I del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud.

PREFACIO

En la elaboración de la presente norma participaron los siguientes Organismos e Instituciones:

SECRETARIA DE SALUD

Dirección General de Control Sanitario de Bienes y Servicios

Dirección General de Medicina Preventiva

Dirección General de Salud Ambiental

Laboratorio Nacional de Salud Pública

SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

Dirección General de Normas

Dirección General de Políticas Comerciales

PROCURADURIA FEDERAL DEL CONSUMIDOR

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

ASOCIACION NACIONAL DE PRODUCTORES DE AGUAS ENVASADAS, A.C.

ASOCIACION NACIONAL DE PRODUCTORES Y DISTRIBUIDORES DE AGUA PURIFICADA, A.C.

CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACION

COMISION NACIONAL DEL AGUA

COMPAÑIA MUNDET, S.A.

CONCENTRADOS NATURALES, S.A.

ELECTROPURA, S.A.

GLESSON VELARDE, S.A.

PEPSICO DE MEXICO, S.A.

SERVICIOS DEL CENTRO, S.A. DE C.V.

Introducción

Esta norma tiene como propósito, establecer las especificaciones sanitarias del agua purificada envasada con el fin de reducir los riesgos de transmisión de enfermedades gastrointestinales y las derivadas de su consumo.

Estas especificaciones se establecen con base en legislaciones internacionales.

1. Objetivo y campo de aplicación

1.1 Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones sanitarias del agua purificada envasada.

1.2 Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en el Territorio Nacional para las personas físicas o morales que se dedican a su proceso o importación.

2. Referencias

Esta norma se complementa con lo siguiente:

NOM-031-SSA1-1993 Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados.

Especificaciones sanitarias.

NOM-051-SCFI-1994 Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados.

NOM-092-SSA1-1994 Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.*

NOM-109-SSA1-1994 Procedimientos para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.*

NOM-110-SSA1-1994 Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.*

NOM-112-SSA1-1994 Determinación de bacterias coliformes.

Técnica del número más probable.*

NOM-117-SSA1-1994 Método de prueba para la determinación de cadmio, arsenico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc, y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por absorción atómica.*

NOM-120-SSA1-1994 Buenas prácticas de higiene y sanidad para bienes y servicios.*

NOM-127-SSA1-1994 Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.*

*Proyecto en proceso de expedición como Norma Oficial Mexicana.

3. Definiciones

Para fines de esta norma se entiende por:

3.1 Agua potable, aquella cuyo uso y consumo no causa efectos nocivos al ser humano.

3.2 Agua purificada envasada, aquella sometida a un tratamiento físico o químico que se encuentra libre de agentes infecciosos, cuya ingestión no causa efectos nocivos a la salud y para su comercialización se presenta en botellones u otros envases con cierre hermético y que además cumple con las especificaciones que se establecen en esta norma.

3.3 Buenas prácticas de fabricación, conjunto de normas y actividades relacionadas entre sí, destinadas a garantizar que los productos tengan y mantengan las especificaciones requeridas para su uso.

3.4 Envase, todo recipiente destinado a contener un producto y que entra en contacto con el mismo, conservando su integridad física, química y sanitaria.

3.5 Envase retornable, aquel que se utiliza más de una vez y que forzosamente tendrá que ser lavado y desinfectado en cada uso.

3.6 Envase no retornable, aquel de un solo uso, que no cumple con la definición de envase retornable.

3.7 Etiqueta, todo rótulo, marbete, inscripción, imagen u otra forma descriptiva o gráfica ya sea que este impreso, marcado, grabado, en relieve, hueco, estarcido o adherido al empaque o envase del producto.

3.8 Inocuo, aquello que no hace o causa daño a la salud.

3.9 Límite máximo, cantidad establecida de aditivos, microorganismos, parásitos, materia extraña, plaguicidas, biotoxinas, residuos de medicamentos, metales pesados y metaloides que no se debe exceder en un alimento, bebida o materia prima.

3.10 Lote, la cantidad de unidades de un producto elaborado en un solo proceso con el equipo y sustancias requeridas, en un mismo lapso para garantizar su homogeneidad. Por lo tanto, no puede ser mayor que la capacidad del equipo ni integrarse con partidas hechas en varios períodos.

3.11 Métodos de prueba, procedimientos analíticos utilizados en el laboratorio para comprobar que un producto satisface las especificaciones que establece la norma.

3.12 Muestra, número total de unidades de producto provenientes de un lote y que representan las características y condiciones del mismo.

3.13 Plaguicidas, sustancia o mezcla de sustancias utilizadas para prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier forma de vida que sea nociva para la salud, los bienes del hombre o el ambiente, excepto la que exista sobre o dentro del ser humano y los protozoarios, virus, bacterias, hongos y otros microorganismos similares sobre o dentro de los animales.

3.14 Proceso, conjunto de actividades relativas a la obtención, elaboración fabricación, preparación, conservación mezclado, acondicionamiento, envasado, manipulación, transporte, distribución, almacenamiento y expendio o suministro al público de productos.

3.15 Registro, formato donde se anotan los datos de las condiciones de proceso.

4. Símbolos y abreviaturas

Cuando en esta norma se haga referencia a los siguientes símbolos y abreviaturas se entiende por:

cm	centímetros
d	densidad
g	gramo
l	litro
µg/l	microgramos por litro
mµ	milimicra
mg	miligramo
mg/l	miligramos por litro
ml	mililitro

M	molar
mol	molécula
N	normal
NMP	número más probable
pH	potencial de hidrógeno
UPC	unidades de platino cobalto
UFC	unidades formadoras de colonias
UTN	unidades de turbidez nefelométricas
vol	volumen

Cuando en la presente norma se mencione al Reglamento, debe entenderse que se trata del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios.

5. Disposiciones sanitarias

El producto objeto de esta norma, además de cumplir con lo establecido en el Reglamento, debe ajustarse a las siguientes disposiciones:

5.1 La fuente de abastecimiento de agua debe sujetarse a las disposiciones establecidas en el Reglamento.

5.2 El lavado y desinfección de envases, debe realizarse con soluciones sanitizantes que no alteren o cedan sustancias que modifiquen las características del producto y evitando la contaminación por el arrastre de las mismas.

5.3 Las plantas purificadoras de agua deben estar diseñadas y establecidas en instalaciones que permitan efectuar correctamente las buenas prácticas de fabricación.

5.4 En las plantas purificadoras de agua se deben llevar registros de las pruebas efectuadas a la materia prima (agua), producto en proceso, producto terminado, lavado de envases, mantenimiento sanitario del equipo, líneas de producción, accesorios y número de lote asignado al producto, los cuales deben conservarse por un año a disposición de la autoridad sanitaria.

6. Especificaciones sanitarias

El producto objeto de este ordenamiento, debe cumplir con las siguientes especificaciones:

6.1 Organolépticas y físicas

Olor Inodoro

Sabor Insípido

Límite Máximo

Color 15 Unidades de color verdadero* en
la escala de platino-cobalto

Turbiedad 5 Unidades de UTN

* Únicamente el producido por sólidos disueltos en el agua.

6.2 Físicoquímicas

pH 6,5 - 8,5

Límite Máximo mg/l

Alcalinidad total 300,00
como CaCO₃

Aluminio 0,20

Arsénico 0,05

Bario 0,70

Cadmio 0,005

Cianuros como CN⁻ 0,05

Cloro residual libre después de un 0,10
tiempo de contacto mínimo de 30 minutos

Cloruros como Cl⁻ 250,00

Cobre 1,00

Cromo total	0,05
Dureza total como CaCO ₃	200,00
Fenoles o compuestos fenólicos	0,001
Fierro	0,30
Fluoruros como F ⁻	0,70
Manganeso	0,05
Mercurio	0,001
Nitratos como N	10,00
Nitritos como N	0,05
Nitrógeno amoniacal como N	0,50
Nitrógeno orgánico total como N	0,10
Oxígeno consumido en medio ácido	2,00
Ozono al envasar	0,40
Plata	0,05
Plomo	0,02
Sólidos disueltos totales	500,00
Sulfatos como SO ₄ ⁼	250,00
Sustancias activas al azul de metileno	0,50
Trihalometanos totales	0,10
Zinc	3,00

6.3 Microbiológicas

Límite Máximo

Mesofílicos aerobios UFC/ml	100
Coliformes totales* NMP/100 ml	no detectable
Coliformes totales** UFC/100 ml	cero
Vibrio cholerae***	Negativo

* Técnica de número más probable.

** Método de filtración por membrana.

*** Bajo situaciones de emergencia sanitaria la Secretaría de Salud, sin perjuicio de las atribuciones de otras Dependencias del Ejecutivo establecerá los casos en los que se habrá de determinar la presencia de este agente biológico.

6.4 Plaguicidas

Límite Máximo µg/l

Aldrín y Dieldrín (separados o combinados) 0,03

Clordano (total de isómeros) 0,30

DDT (Dicloro difenil tricloro etano) 1,00

(total de isómeros)

Gamma-HCH (lindano) 2,00

Hexaclorobenceno 0,01

Heptacloro y epóxido de heptacloro 0,03

Metoxicloro (1,1,1-Tricloro, 2,2, bis 20,00

(p-metoxi-fenil) etano)

2,4-D (Acido 2,4 - diclorofenoxiacético) 30,00

7. Muestreo

El procedimiento de muestreo del producto objeto de esta norma debe sujetarse a lo que establece la Ley General de Salud.

8. Métodos de prueba

Para la verificación de las especificaciones que se establecen en esta norma, se deben aplicar los métodos de prueba señalados en el apartado de referencias.

Para la determinación de las especificaciones físicas, químicas y de plaguicidas se deben aplicar los métodos establecidos en el apéndice normativo A de esta norma.

Para la determinación de aluminio, bario, cromo, manganeso y plata se debe aplicar el método de prueba establecido en la NOM-117-SSA1-1994. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por absorción atómica.

La determinación de *Vibrio cholerae*, se efectuará con el método contemplado en la Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993. Moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias; la preparación de la muestra se establece en el apéndice normativo B de esta norma.

Para la determinación de coliformes totales por filtración por membrana se debe aplicar el método establecido en el apéndice normativo B de esta norma.

9. Etiquetado

La etiqueta del producto objeto de esta norma, además de cumplir con lo establecido en el Reglamento y la Norma Oficial Mexicana correspondiente, debe sujetarse a lo siguiente:

Debe figurar el número o clave del lote de producción

10. Envase y embalaje

10.1 Envase

El producto objeto de esta norma se debe envasar en recipientes de tipo sanitario que tengan tapa inviolable o sello o banda de garantía, elaborados con materiales inocuos y resistentes a distintas etapas del proceso, de tal manera que no reaccionen con el producto o alteren sus características físicas, químicas y organolépticas.

10.2 Embalaje

Se deben usar envolturas de material resistente que ofrezcan la protección adecuada a los envases para impedir su deterioro exterior, a la vez que faciliten su manipulación, almacenamiento y distribución.

11. Concordancia con normas internacionales

Esta norma no tiene concordancia con normas internacionales.

12. Bibliografía

12.1 Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 1992. Ley Federal sobre Metrología y Normalización. México, D.F.

12.2 Secretaría de Salud. 1991. Ley General de Salud. México, D.F.

12.3 Secretaría de Salud. 1988. Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios. México, D.F.

12.4 Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 1981. NORMA-Z-013/02. Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Oficiales Mexicanas. México, D.F.

12.5 Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. NORMA-008-SCFI-1993. Sistema General de Unidades de Medida. México, D.F.

12.6 Secretaría de Salud. Dirección General de Control Sanitario de Bienes y Servicios. 1992. Manual de Buenas Prácticas de Higiene y Sanidad. México, D.F.

12.7 U.S. Government Printing Office Washington Office of the Federal Register 1990, Code of Federal Regulations. 21.110 "Current Good Manufacturing Practice".

12.8 U.S. Government Printing Office Washington Office of the Federal Register 1990, Code of Federal Regulations. 21.103.35. Subpart B-Standards of Quality (Bottled Water).

12.9 U.S. Government Printing Office Washington Office of the Federal Register 1990, Code of Federal Regulations. 21.129. Processing and bottling of bottled drinking Water.

12.10 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Eighteen Edition. 1992. APHA.AWWA.WPCF.USA.

12.11 Organización Panamericana de la Salud. 1987. Guías para la Calidad del Agua Potable. Volumen 2. México, D.F.

13. Observancia de la Norma

La vigilancia en el cumplimiento de la presente norma corresponde a la Secretaría de Salud.

14 Vigencia

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor con su carácter de obligatorio a los treinta, siguientes a partir de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

México, D.F., 29 de noviembre de 1994.- El Director General de Control Sanitario de Bienes y Servicios, José Meljem Moctezuma.- Rúbrica

El suscrito, Director General de Asuntos Jurídicos de la Secretaría de Salud, con fundamento en el artículo 10 fracción XVII del Reglamento Interior que rige a esta dependencia; CERTIFICA: que la presente copia que consta de diecisiete hojas concuerda fielmente con su original que obra en los archivos de esta Dirección General.

Se expide la presente para los efectos legales a que haya lugar, en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los tres días del mes de marzo de mil novecientos noventa y cinco.- Alfonso Navarrete Prida.- Conste.- Rúbrica.