

# TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**GABRIELA** MOELLER CHÁVEZ **LUCIANO** SANDOVAL YOVAL  
**ANTONIO** RAMÍREZ GONZÁLEZ **ESPERANZA** RAMÍREZ CAMPEROS  
**LINA** CARDOSO VIGUEROS **VIOLETA E.** ESCALANTE ESTRADA  
**ANA CECILIA** TOMASINI ORTIZ **ERIKA VIVIANA** MIRANDA MANDUJANO  
**PETIA** MIJAYLOVA NACHEVA **GUSTAVO A.** ORTÍZ RENDÓN







# Tratamiento de aguas residuales

---

628.162 Moeller Chávez, Gabriela.  
M44 *Tratamiento de aguas residuales / Gabriela Möeller... et al. -- Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de  
Tecnología del Agua, ©2011.*

475 p.

ISBN: 978-607-7563-31-0

*1. Tratamiento de aguas residuales 2. Lodos activados 3. Tratamiento de lodos 4. Composteo  
5. Vermicomposteo.*

---

Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua:  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Coordinación editorial:  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Coordinación de Comunicación,  
Participación e Información.

Subcoordinación de Vinculación, Comercialización  
y Servicios Editoriales.

Primera edición: 2011.

D.R. © Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuauhnáhuac 8532  
62550 Progreso, Jiutepec, Morelos  
MÉXICO  
[www.imta.gob.mx](http://www.imta.gob.mx)

ISBN: 978-607-7563-31-0

Impreso en México – Printed in Mexico

# Tratamiento de aguas residuales

EDICIÓN TECNOLÓGICA

## **Autores:**

Dra. Gabriela Moeller Chávez  
M. en I. Luciano Sandoval Yoal  
M. en I. Antonio Ramírez González  
M. en I. Esperanza Ramírez Camperos  
M. en C. Lina Cardoso Vigueros  
M. en C. Violeta E. Escalante Estrada  
M. en C. Ana Cecilia Tomasini Ortiz  
M. en I. Erika Viviana Miranda Mandujano  
Dra. Petia Mijaylova Nacheva  
Dr. Gustavo A. Ortiz Rendón





## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>CALIDAD DEL AGUA</b>	<b>1</b>
1.1	<b>Parámetros de calidad del agua</b>	<b>1</b>
1.1.1	Características físicas	3
1.1.2	Características químicas	5
1.1.3	Características biológicas	10
1.2	<b>Aspectos básicos de la microbiología del agua</b>	<b>13</b>
1.2.1	Tipos de metabolismo	13
1.2.2	Tipos de microorganismos	14
1.2.2.1	<i>Virus</i>	14
1.2.2.2	<i>Bacterias</i>	15
1.2.2.3	<i>Hongos</i>	16
1.2.2.4	<i>Algas</i>	16
1.2.2.5	<i>Protozoarios</i>	18
1.2.2.6	<i>Formas superiores de vida</i>	19
1.3	<b>Contaminación del agua y su control</b>	<b>19</b>
1.3.1	Contaminación de agua	19
1.3.1.1	<i>Definiciones</i>	19
1.3.1.2	<i>Tipos de contaminantes</i>	21
1.3.1.3	<i>Vertido de aguas residuales</i>	25
1.3.2	Criterios para el control de la contaminación del agua	28
<b>2</b>	<b>PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL</b>	<b>31</b>
2.1	<b>Procesos físicos</b>	<b>32</b>
2.1.1	Cribado	32
2.1.2	Regulación	32
2.1.3	Sedimentación	33
2.1.4	Flotación	33
2.1.5	Filtración	33
2.2	<b>Procesos químicos</b>	<b>34</b>
2.2.1	Coagulación	34
2.2.2	Precipitación química	35
2.2.3	Oxidación química	35
2.2.4	Intercambio iónico	35
2.2.5	Desinfección	36
2.3	<b>Procesos biológicos</b>	<b>36</b>
2.3.1	Sistemas aerobios	38
2.3.1.1	<i>Lagunas de estabilización</i>	38
2.3.1.2	<i>Lagunas aeradas</i>	45

2.3.1.3	<i>Lodos activados</i>	49
2.3.1.4	<i>Filtros percoladores</i>	49
2.3.1.5	<i>Sistema de discos biológicos rotatorios (Biodiscos)</i>	52
2.3.2	<b>Sistemas anaerobios</b>	56
2.3.2.1	<i>Fosa séptica</i>	57
2.3.2.2	<i>Tanque Imhoff</i>	63
2.3.2.3	<i>Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente</i>	66
2.3.2.4	<i>Digestor anaerobio convencional</i>	68
2.3.2.5	<i>Digestor anaerobio completamente mezclado</i>	68
2.3.2.6	<i>Reactor de contacto anaerobio</i>	68
2.3.2.7	<i>Filtro anaerobio</i>	68
2.3.2.8	<i>Reactor tubular de película fija</i>	69
2.3.2.9	<i>Reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente (UASB)</i>	69
2.3.2.10	<i>Reactores de tercera generación</i>	69
2.3.2.11	<i>Ventajas y desventajas de los procesos aerobios - anaerobios</i>	69
2.4	<b>Panorama general del tratamiento del agua residual en México</b>	73
3	<b>PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS</b>	79
3.1	<b>Aspectos generales del proceso</b>	80
3.2	<b>Componentes del sistema de lodos activados</b>	81
3.3	<b>Variantes del proceso</b>	83
3.3.1	<i>Flujo pistón</i>	83
3.3.2	<i>Aeración decreciente</i>	84
3.3.3	<i>Mezcla completa convencional</i>	85
3.3.4	<i>Aeración extendida (oxidación total)</i>	86
3.3.5	<i>Estabilización - contacto</i>	87
3.3.6	<i>Sistema de oxígeno puro</i>	87
3.3.7	<i>Proceso de alta tasa</i>	90
3.3.8	<i>Zanjas de oxidación</i>	90
3.3.9	<i>Orbal</i>	94
3.3.10	<i>Proceso secuencial en lotes (SBR)</i>	95
3.4	<b>Parámetros de diseño para procesos de lodos activados</b>	96
4	<b>MICROBIOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS</b>	99
4.1	<b>Tipos de microorganismos</b>	100
4.1.1	<i>Virus</i>	100
4.1.2	<i>Bacterias</i>	101
4.1.3	<i>Protozoarios</i>	103
4.1.3.1	<i>Protozoarios flagelados</i>	104
4.1.3.2	<i>Sarcodina</i>	104
4.1.3.3	<i>Ciliados</i>	104
4.1.4	<i>Rotíferos</i>	106
4.1.5	<i>Nemátodos</i>	108
4.1.6	<i>Hongos</i>	111

<b>4.2</b>	<b>Dinámica de la población</b>	<b>111</b>
<b>4.3</b>	<b>Formación de flóculos</b>	<b>114</b>
<b>4.4</b>	<b>Formación de espuma</b>	<b>117</b>
4.4.1	Espuma blanca	119
4.4.2	Espumas marrones	120
4.4.3	Espumas muy oscuras o negras	120
<b>4.5</b>	<b>Uso del microscopio</b>	<b>120</b>
4.5.1	Microscopio compuesto	122
4.5.2	Procedimientos para el uso del microscopio	123
4.5.3	Recomendaciones para su manejo	124
<b>5</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROCESO</b>	<b>127</b>
<b>5.1</b>	<b>Rejillas</b>	<b>128</b>
<b>5.2</b>	<b>Bombas</b>	<b>130</b>
5.2.1	Bombas centrífugas	131
5.2.1.1	<i>Bombas radiales, axiales y diagonales</i>	131
5.2.1.2	<i>Bombas de impulsor abierto, semiabierto y cerrado</i>	132
5.2.1.3	<i>Bombas horizontales y verticales</i>	135
5.2.2	Bombas de desplazamiento positivo	137
5.2.2.1	<i>Bombas volumétricas</i>	137
5.2.2.2	<i>Bombas de émbolo</i>	137
5.2.2.3	<i>Bombas rotativas</i>	139
5.2.2.4	<i>Bomba de engranajes</i>	140
5.2.2.5	<i>Bombas de aletas</i>	141
5.2.2.6	<i>Bombas helicoidales</i>	142
5.2.2.7	<i>Bombas rotativas de émbolo</i>	145
<b>5.3</b>	<b>Sedimentadores</b>	<b>150</b>
5.3.1	Sedimentadores circulares	150
5.3.2	Sedimentadores rectangulares	153
5.3.3	Sedimentación de alta tasa	155
<b>5.4</b>	<b>Sistemas de aeración</b>	<b>156</b>
5.4.1	Aeradores mecánicos	158
5.4.1.1	<i>Aeradores de turbina</i>	158
5.4.1.2	<i>Aeradores superficiales</i>	160
5.4.1.3	<i>Aeradores horizontales (Cepillos)</i>	160
5.4.1.4	<i>Aeradores aspirantes</i>	161
5.4.2	Aeradores de aire a presión	162
5.4.2.1	<i>Aeradores sumergibles</i>	162
5.4.2.2	<i>Aeradores tipo jet</i>	163
5.4.2.3	<i>Aeración por difusión</i>	165
5.4.3	Sopladores	169
5.4.3.1	<i>Sopladores de Desplazamiento Positivo</i>	172
5.4.3.2	<i>Sopladores Centrífugos</i>	176

<b>6</b>	<b>OPERACIÓN Y PARÁMETROS DE CONTROL</b>	<b>179</b>
<b>6.1</b>	<b>Indicadores del proceso</b>	<b>182</b>
6.1.1	Indicadores sensoriales	183
6.1.1.1	<i>Color</i>	183
6.1.1.2	<i>Olor</i>	184
6.1.1.3	<i>Espuma y natas</i>	184
6.1.1.4	<i>Algas</i>	186
6.1.1.5	<i>Aerosoles en aeradores</i>	186
6.1.1.6	<i>Turbiedad del efluente</i>	187
6.1.1.7	<i>Burbujeo</i>	188
6.1.1.8	<i>Material flotante</i>	189
6.1.1.9	<i>Acumulación de sólidos</i>	189
6.1.1.10	<i>Trayectoria de flujos</i>	190
6.1.1.11	<i>Turbulencia y mezcla</i>	191
6.1.1.12	<i>Tacto</i>	193
6.1.2	Indicadores analíticos	194
6.1.2.1	<i>Temperatura</i>	196
6.1.2.2	<i>pH, acidez y alcalinidad</i>	197
6.1.2.3	<i>Oxígeno disuelto (OD)</i>	199
6.1.2.4	<i>Prueba de consumo de OD</i>	199
6.1.2.5	<i>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</i>	200
6.1.2.6	<i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i>	201
6.1.2.7	<i>Nutrientes</i>	203
6.1.2.8	<i>Sólidos suspendidos totales (SST) y volátiles (SSV)</i>	204
6.1.2.9	<i>Grasas y aceites</i>	204
6.1.2.10	<i>Gasto</i>	205
6.1.2.11	<i>Tiempo de retención</i>	206
6.1.2.12	<i>Profundidad del manto de lodos</i>	207
6.1.2.13	<i>Observaciones microscópicas</i>	208
6.1.2.14	<i>Dosificación de productos químicos</i>	209
6.1.2.15	<i>Toxicidad (Metales y compuestos orgánicos volátiles)</i>	209
<b>6.2</b>	<b>Control del proceso</b>	<b>211</b>
6.2.1	<i>Índice volumétrico de lodos (IVL).</i>	211
6.2.2	<i>Relación alimento/ microorganismos (A/M)</i>	213
6.2.3	<i>Edad de lodos (tiempo medio de retención celular)</i>	216
6.2.4	<i>Control del gasto de recirculación</i>	217
6.2.5	<i>Control de la purga</i>	218
<b>6.3</b>	<b>Taller de cálculos</b>	<b>219</b>
6.3.1	<i>Balance de masa</i>	219
6.3.2	<i>Requerimientos de aire</i>	226
6.3.3	<i>Requerimientos de nutrientes</i>	227
6.3.4	<i>Resumen de resultados</i>	228
<b>6.4</b>	<b>Registro de operación</b>	<b>229</b>



6.4.1	Registros físicos	229
6.4.2	Registros de desempeño	229
6.4.2.1	<i>Rejillas</i>	230
6.4.2.2	<i>Sedimentador primario</i>	231
6.4.2.3	<i>Reactor biológico</i>	231
6.4.2.4	<i>Sedimentador secundario</i>	232
6.4.2.5	<i>Cloración</i>	232
6.4.2.6	<i>Espesador de lodos</i>	233
<b>6.5</b>	<b>Problemas operacionales y acciones correctivas</b>	<b>233</b>
6.5.1	Bombas	234
6.5.2	Sedimentador primario	235
6.5.3	Reactor biológico	237
6.5.4	Sedimentador secundario	238
6.5.5	Cloración	239
6.5.6	Espesador de lodos	240
<b>6.6</b>	<b>Arranque de una planta</b>	<b>240</b>
6.6.1	Preparación previa al arranque	241
6.6.1.1	<i>Análisis del agua residual</i>	241
6.6.1.2	<i>Revisión del equipo electromecánico</i>	242
6.6.1.3	<i>Revisión hidráulica de los tanques</i>	242
6.6.2	Arranque	243
6.6.2.1	<i>Arranque sin inóculo</i>	243
6.6.2.2	<i>Arranque con inóculo</i>	247
6.6.3	Transición del arranque	249
6.6.4	Problemas típicos en el arranque	250
6.6.4.1	<i>Espuma</i>	250
6.6.4.2	<i>Sedimentación de lodos biológicos</i>	250
6.6.4.3	<i>Baja remoción de DBO<sub>5</sub></i>	251
6.6.4.4	<i>Temperatura y condiciones climáticas desfavorables</i>	251
<b>6.7</b>	<b>Manual de operación</b>	<b>252</b>
6.7.1	Descripción del proceso	252
6.7.2	Manera de ejecutar cada una de las tareas asignadas	254
6.7.3	Consideraciones de operación	257
6.7.4	Formatos o bitácoras de registro de operación	258
<b>7</b>	<b>MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS</b>	<b>259</b>
7.1	Calendarización de actividades	262
7.2	Mantenimiento preventivo (procedimientos de rutina)	262
7.3	Herramientas	264
7.4	Procedimientos especiales	264
7.5	Registro de información	264
7.6	Manejo de partes de repuesto	265

7.7	<b>Actividades de mantenimiento</b>	<b>266</b>
7.7.1	Rejillas	266
7.7.2	Sedimentador primario	266
7.7.3	Reactor biológico	266
7.7.4	Sedimentador secundario	266
7.7.5	Cloración	267
7.7.6	Espesador de lodos	267
7.7.7	Bombas	267
<b>8</b>	<b>TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES</b>	<b>269</b>
8.1	<b>Tipos y características de los lodos residuales</b>	<b>269</b>
8.1.1	Características físicas	270
8.1.2	Características químicas	271
8.1.3	Características microbiológicas	272
8.2	<b>Tratamiento de lodos residuales</b>	<b>273</b>
8.2.1	Espesamiento y deshidratación de lodos	274
8.2.2	Estabilización	278
8.2.2.1	<i>Digestión anaerobia</i>	280
8.2.2.2	<i>Digestión aerobia</i>	283
8.2.2.3	<i>Digestión alcalina</i>	285
<b>9</b>	<b>COMPOSTEO AEROBIO DE LODOS RESIDUALES</b>	<b>291</b>
9.1	<b>Etapas del proceso</b>	<b>292</b>
9.2	<b>Factores que influyen en el proceso de composteo</b>	<b>294</b>
9.3	<b>Sistemas de composteo</b>	<b>295</b>
9.4	<b>Control del proceso</b>	<b>296</b>
9.5	<b>Estabilidad de la composta</b>	<b>298</b>
9.5.1	Medida de la respiración microbiana	298
9.5.2	Medida del efecto de la composta sobre el crecimiento y desarrollo de plantas	299
9.5.3	La relación carbono: nitrógeno (C:N)	299
9.5.4	Materia orgánica	299
9.5.5	Sólidos volátiles (SV)	299
9.5.6	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	300
9.5.7	Demanda química de oxígeno (DQO)	300
9.5.8	Carbono orgánico total	300
9.6	<b>Equipos y materiales para el composteo</b>	<b>301</b>
9.7	<b>Áreas de un sistema de composteo</b>	<b>302</b>
9.8	<b>Calidad de la composta</b>	<b>303</b>
<b>10</b>	<b>VERMICOMPOSTEO DE LODOS RESIDUALES</b>	<b>305</b>
10.1	<b>Experiencias internacionales y nacionales</b>	<b>305</b>
10.2	<b>Descripción del proceso de vermicomposteo</b>	<b>314</b>
10.2.1	<b>Etapas del vermicomposteo</b>	<b>314</b>
10.2.1.1	<i>Precomposteo</i>	315

10.2.1.2	<i>Parámetro de control y preparación del alimento para las lombrices</i>	315
10.2.1.3	<i>Alimentación y degradación</i>	323
10.2.1.4	<i>Cosecha de lombrices y de humus</i>	325
10.2.2	<b>Tipos de lombrices</b>	326
10.2.2.1	<i>Lombrices formadoras de suelo</i>	326
10.2.2.2	<i>Lombrices composteadoras</i>	327
10.2.3	<b>Descripción de <i>Eisenia foetida</i></b>	328
10.2.3.1	<i>Taxonomía</i>	328
10.2.3.2	<i>Morfología</i>	330
10.2.3.3	<i>Forma de vida</i>	331
10.2.3.4	<i>Reproducción y ciclo biológico</i>	332
10.3	<b>Características y aprovechamiento de la vermicomposta</b>	335
11	<b>SEGURIDAD E HIGIENE</b>	337
11.1	<b>Objetivos de la Seguridad Industrial</b>	338
11.2	<b>Causas básicas y causas inmediatas</b>	338
11.2.1	<b>Causas básicas</b>	339
11.2.1.1	<i>Factores personales</i>	339
11.2.1.2	<i>Factores de trabajo</i>	339
11.2.2	<b>Causas inmediatas</b>	339
11.3	<b>Actos inseguros</b>	340
11.4	<b>Condiciones inseguras</b>	340
11.5	<b>Factores que intervienen en los accidentes (Cortés Díaz, 2002)</b>	341
11.5.1	<b>Ambiente físico</b>	341
11.5.2	<b>Ambiente Psicológico</b>	341
11.5.3	<b>Ambiente Social</b>	341
11.6	<b>Programas</b>	341
11.7	<b>Medidas de higiene</b>	342
11.8	<b>Sustancias peligrosas</b>	343
11.9	<b>Espacios confinados</b>	344
11.10	<b>Medidas de protección</b>	345
11.11	<b>Fundamentos legales de la Seguridad Industrial</b>	345
12	<b>NORMATIVIDAD APLICADA</b>	
	<b>AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	383
12.1	<b>Desarrollo de la legislación en México. Criterios y normas</b>	383
12.2	<b>Normativa vigente</b>	389
12.2.1	NOM-001-SEMARNAT-1996	389
12.2.2	NOM-002-SEMARNAT-1996	398
12.2.3	NOM-003-SEMARNAT-1997	403
13	<b>NORMATIVIDAD MEXICANA PARA LODOS RESIDUALES</b>	409

<b>13.1</b>	<b>Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002</b>	<b>410</b>
<b>13.2</b>	<b>Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005</b>	<b>415</b>
13.2.1	Procedimiento para la clasificación de los lodos residuales	416
13.2.2	Procedimiento para la evaluación de la conformidad	420
 <b>ANEXO A</b>		<b>453</b>
<b>ANEXO B</b>		<b>461</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>467</b>



El aumento acelerado de la población y la consecuente creciente demanda por el recurso hídrico, así como el suministro de agua en cantidad y calidad adecuada para satisfacer las necesidades de la población, tanto en áreas rurales como urbanas, y la preocupación por la conservación de nuestro medio ambiente, ha resaltado ahora más que nunca, el tema del tratamiento de las aguas residuales, tema que fue muy poco atendido durante la primera mitad del siglo pasado en el país, ya que muy pocas de las principales ciudades en México contaban con una planta para tratar las aguas residuales que generaban.

A partir de la década de los noventas, el Gobierno Federal ha hecho grandes esfuerzos por aumentar cada día la cobertura de plantas de tratamiento en el país lo que ha llevado a una mayor demanda de profesionales calificados para diseñar, operar y mantener las instalaciones.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua dentro de su misión establece la generación y disseminación de conocimiento y tecnología para el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos de México. El tratamiento de las aguas residuales por lo antes mencionado constituye un tema de sumo interés para el cumplimiento de la misión del IMTA, que desde su inicio, ha ofrecido cursos abiertos e institucionales sobre el tema. Este libro compila las experiencias de los múltiples cursos ofrecidos sobre el tema. Asimismo, dado que casi el 50% de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales utilizan la tecnología de lodos activados, se ha enfatizado sobre esta tecnología de tratamiento.

Este libro incluye un capítulo sobre calidad del agua, donde se explica el significado de los principales parámetros tanto físicos, químicos y biológicos. Asimismo, ya que una planta de tratamiento para aguas residuales está constituida por diversos procesos unitarios que según su objetivo se disponen en orden en el sistema para conformar un tren de tratamiento, se describen en un capítulo los principales procesos de tratamiento para el agua residual, haciendo énfasis en otros capítulos sobre todo en el sistema de tratamiento de lodos activados y sus variantes, dando una descripción general de los aspectos principales del proceso, su microbiología y la descripción de los equipos de proceso. Se incluye también un capítulo sobre la operación de la planta de tratamiento, sus parámetros de control y sobre las principales rutinas de mantenimiento. Otro capítulo está dedicado a los lodos residuales que cualquier planta de tratamiento genera, describiendo los tipos y características principales así como las principales tecnologías para el manejo y tratamiento de ellos. Se abordan también los principios fundamentales de seguridad e higiene a observar en una planta de tratamiento así como la normativa nacional para aguas y lodos residuales.

Para el profesional responsable de la operación de una planta de tratamiento es un reto que su instalación genere efluentes con calidad que cumplan con los criterios normativos para descarga y conservación del medio ambiente y/o reúso del agua tratada. Se espera que este libro ofrezca un compendio de herramientas que apoyarán tanto al responsable como al operador de la planta de tratamiento para lograr el conocimiento de su instalación, que le permitirá cumplir exitosamente con esos retos.

Dra. Gabriela E. Moeller Chávez  
Coordinadora de Tratamiento y Calidad del Agua  
Diciembre de 2010



El agua es de vital importancia en la vida del hombre, por lo que existe una preocupación por los posibles riesgos para la salud que pueden surgir a largo plazo por la presencia de pequeñas concentraciones de impurezas en el agua para beber, en especial de compuestos potencialmente cancerígenos. También existen varios contaminantes, de origen natural o sintético, que tienen efectos conocidos en la salud de quienes los consumen. Por tanto, es muy importante que se conozca la relación que existe entre la calidad del agua, su tratamiento y la salud.

La calidad del agua es en cierta forma una manera de conocer o saber que relación guarda ésta con una actividad o uso que se le pretende dar, así se puede establecer si es de buena o de mala calidad, si cumple con criterios o aun mejor con normas y reglamentos establecidos por los gobiernos correspondientes los cuales hacen uso de límites y concentraciones de parámetros establecidos que indican el momento en que es apta o no para desarrollar una actividad, es así que se establecen los límites máximos permisibles, los cuales no deben ser sobrepasados. Ahora bien, son varios los parámetros que se utilizan para determinar física, química y bacteriológicamente la calidad de agua.

En este punto es necesario realizar la siguiente pregunta. *¿Por qué es importante conocer la calidad del agua?*, Se requiere conocerla debido a que puede ser utilizada para fijar normas o reglamentos de descargas residuales municipales o industriales a cuerpos receptores, para diseñar y operar sistemas de tratamiento de agua, para establecer usos o reusos y para la protección de cuerpos naturales y de la vida acuática.

A continuación se presentan los principales parámetros que se utilizan para definir la calidad de agua.

## 1.1 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

El agua se le considera como una molécula formada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, siendo su estructura molecular  $H_2O$ . Las aguas naturales contienen



cantidades variables de otras sustancias, ya sea de manera disuelta y/o particulada, en concentraciones que fluctúan de unos cuantos miligramos por litro en agua de lluvia a cerca de 35,000 mg/L en agua de mar. Por lo general, las aguas residuales contienen la mayoría de los constituyentes del agua de abastecimiento, más las impurezas adicionales provenientes del proceso productor de desechos (Figura 1.1).



Figura 1.1 Descarga de agua municipal.

El agua residual cruda presenta en promedio una concentración alrededor de 1000 mg/L de sólidos en solución y suspensión, por lo cual cerca del 99.9% es agua pura. Cabe hacer hincapié que medir simplemente el contenido total de sólidos de una muestra es insuficiente para especificar su condición ya que el agua subterránea, clara y brillante, puede tener el mismo contenido total de sólidos en solución que el agua residual cruda.

Para obtener una imagen verdadera de la naturaleza de una muestra en particular, es necesario cuantificar diferentes propiedades mediante un análisis que determine sus características físicas, químicas y biológicas; sin embargo, no se investigan todas de una muestra dada.

En la Tabla 1.1 se relacionan los parámetros o características que se miden con más frecuencia en los diferentes tipos de muestras según su procedencia.

Tabla 1.1 Parámetros importantes para caracterizar el agua de diferentes muestras según su procedencia.

Parámetros	Agua de río	Agua potable	Agua residual cruda	Efluente de agua residual tratada
pH	X	X	X	X
Temperatura	X	X	X	X
Color	X	X		
Turbiedad	X	X		
Sabor		X		
Olor	X	X		
Sólidos totales	X	X	X	X
Sólidos sedimentables			X	
Sólidos suspendidos			X	X
Conductividad	X	X		
Radioactividad	X	X		
Alcalinidad	X	X	X	X
Acidez	X	X	X	X
Dureza	X	X		
OD	X	X		X
DBO	X		X	X
DQO o COT	X		X	X
Nitrógeno orgánico			X	X
Nitrógeno amoniacal	X		X	X
Nitrógeno de nitritos	X	X	X	X
Nitrógeno de nitratos	X	X	X	X
Cloruros	X			
Fosfatos	X		X	X
Detergente sintético	X		X	X
Análisis bacteriológicos	X	X	X	X

### 1.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las consideraciones para establecer a primera vista la calidad del agua se basan principalmente en las características físicas. De esta forma se desea un agua incolora, insípida e inodora. Las propiedades físicas más comúnmente empleadas para determinar la calidad del agua se describen a continuación.

#### a) Color

El color del agua puede estar condicionado por la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de humus y turbas, de plancton, de restos vegetales y de residuos industriales. Tal coloración se elimina para adaptar un agua a usos generales e

industriales. Las aguas residuales industriales coloreadas suelen requerir de eliminación de color antes de su vertimiento.

El término “*color real*” se asocia al concepto de color puro, esto es, el color del agua cuya turbidez ha sido eliminada. El término “*color aparente*” engloba no sólo el color debido a las sustancias disueltas, sino también a materia en suspensión. En estos casos deben determinarse ambos colores, el aparente y el real.

## **b) Conductividad**

La conductividad de un agua depende de la cantidad de sales disueltas presentes y es aproximadamente proporcional al contenido de sólidos disueltos totales (principalmente de tipo mineral). El rango general de conductividad en las aguas superficiales es de 45 a 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en las residuales municipales es del orden de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y de más de 10,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las industriales.

## **c) Sólidos**

Sólidos son los materiales suspendidos o disueltos en aguas limpias y/o aguas residuales. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras.

Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físicos de agua, y para evaluar el cumplimiento de las regulaciones de vertimiento de aguas residuales a cuerpos receptores.

Las concentraciones generales de sólidos totales presentes en un agua superficial varían de 50 a 400 mg/L y en uno que reciba descargas residuales puede alcanzar valores de hasta 3000 mg/L.

Los sólidos pueden clasificarse según su tamaño y estado; en sedimentables, suspendidos, coloidales o disueltos. Los sólidos disueltos totales (SDT) se deben a materiales solubles, mientras que los sólidos en suspensión (SS) son partículas discretas que se miden al filtrar una muestra a través de un papel filtro de poro fino. Los sólidos sedimentables son aquellos removidos en un procedimiento estándar de sedimentación con el uso de un cono Imhoff después de  $\frac{1}{2}$  hora.

Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor. Por estas razones, para las aguas potables es deseable un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos.

Las aguas altamente mineralizadas tampoco son adecuadas para muchas aplicaciones industriales o incluso resultan estéticamente insatisfactorias para bañarse.

Por sus características químicas, los sólidos, se clasifican como no volátiles (sólidos fijos) y volátiles. Los últimos se volatilizan a temperaturas de 550°C y son considerados como materiales orgánicos. En la Tabla 1.2 se resumen las formas en las que se encuentran los diferentes tipos de sólidos.

Tabla 1.2 Tipos de sólidos presentes en las aguas residuales.

Sólidos	Fracción total	Fracción volátil (Materia orgánica)	Fracción fija (Materia inorgánica)
Totales	ST	STV	STF
Suspendidos	SST	SSV	SSF
Disueltos	SDT	SDV	SDF

Como se puede ver, si se suman la fracción volátil a la fija se obtiene el total. Por ejemplo;  $STF + STV = ST$ . Por otro lado, la diferencia entre los sólidos totales (ya sean ST, STV o STF) y los suspendidos (SST, SSV O SSF) es igual a los sólidos disueltos (SDT, SDV, SDF). Todos los sólidos se reportan en mg/L, excepto los sedimentables que se reportan en mL/L.

#### d) Temperatura

La temperatura es un parámetro importante por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas, reducción en la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores.

#### e) Turbiedad

La presencia de sólidos coloidales le da al líquido una apariencia nebulosa que es poca atractiva y puede ser dañina. La turbiedad en el agua la pueden causar partículas de arcilla y limo, descargas de aguas residuales, desechos industriales o la presencia de numerosos microorganismos. La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. En un río se tiene una turbidez del rango de 5 a 50 UNT.

### 1.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las características químicas tienden a ser más específicas que algunos de los parámetros físicos y por eso más útiles para evaluar las propiedades de una muestra (Romero R. J., 2005).

A continuación se describen algunas características químicas importantes del agua:

**a) Acidez**

Es la capacidad del agua para neutralizar compuestos básicos. La mayoría de las aguas naturales y el agua residual doméstica son amortiguadas por un sistema  $\text{CO}_2\text{--HCO}_3^-$ . El ácido carbónico  $\text{H}_2\text{CO}_3$  no se neutraliza totalmente hasta un pH de 8.2 y no disminuye el pH por debajo de 4.5. Así la acidez del  $\text{CO}_2$  ocurre dentro de un pH de 8.2 a 4.5, la acidez mineral (casi siempre debido a desechos industriales) se presenta por debajo de un pH de 4.5. La acidez se expresa en términos de  $\text{CaCO}_3$ .

**b) Alcalinidad**

Se le llama alcalinidad a la capacidad para neutralizar ácidos. La alcalinidad es útil, tanto en el agua natural como en las aguas residuales, porque proporciona un amortiguamiento para resistir cambios de pH. Normalmente, se divide en alcalinidad cáustica, por encima del pH 8.2 y alcalinidad total, por encima del pH 4.5. La alcalinidad puede existir hasta un pH de 4.5 debido a que el  $[\text{HCO}_3^-]$  no se neutraliza completamente sino hasta que se alcanza este pH. La cantidad de alcalinidad presente se expresa en términos de mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

**c) Carbón orgánico total**

Otra manera para determinar el contenido de materia orgánica es por medio de la técnica del carbono orgánico total (TOC). En este caso se mide realmente el carbono orgánico ya sea biodegradable o no. El tiempo de determinación es mucho menor que para la DBO y la DQO, pero requiere de equipo muy especializado y costoso.

**d) Cloruros**

Las concentraciones altas de cloruros en el agua pueden causar problemas de calidad en usos de consumo y de riego agrícola. En general, los métodos de tratamiento convencionales no remueven cloruros. En el agua residual municipal la concentración de cloruros varía de 30 a 200 mg/L, en concentraciones superiores a 15, 000 mg/L, se consideran tóxicos en procesos biológicos

**e) Compuestos orgánicos volátiles**

En aguas residuales industriales es común encontrar compuestos orgánicos volátiles (COV), y generalmente se consideran como carcinogénicos. Se consideran COV, a aquellos que tiene un punto de ebullición menor o igual a 100°C o una presión de vapor mayor a 1 mm Hg a 25 °C (Metcalf and Eddy, 2003).

**f) Demanda de oxígeno**

Los compuestos orgánicos por lo regular son inestables y pueden oxidarse biológica o químicamente para obtener productos finales estables, relativamente inertes, tales como



$\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ . La indicación del contenido orgánico de un desecho se obtiene de medir la cantidad o demanda de oxígeno que se requiere para su estabilización.

*- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)*

Mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica. La determinación estandarizada tiene un período de duración de 5 días ( $\text{DBO}_5$ ) y puede haber interferencias por condiciones endógenas de los microorganismos. En condiciones anaerobias, la cantidad de sustrato que puede ser degradado biológicamente es con frecuencia mayor que el representado por la concentración de la  $\text{DBO}_5$  del agua residual. Por lo que en el diseño de los procesos anaerobios, se utiliza la demanda química de oxígeno (DQO) para caracterizar la descarga orgánica de una muestra.

*- Demanda química de oxígeno (DQO)*

Es la cantidad de oxígeno que se consume, al oxidar la materia orgánica por medio de un oxidante fuerte (dicromato de potasio) en un medio ácido. La prueba, a diferencia de la DBO, es muy rápida pero también se oxidan compuestos inorgánicos elevando el valor de la DQO. Casi todas las sustancias orgánicas se oxidan en su totalidad.

**g) Detergentes (sustancias activas al azul de metileno SSAM)**

Los detergentes, agentes tensoactivos o agentes superficiales activos, son compuestos constituidos por moléculas orgánicas grandes, polares solubles en agua y aceite, que tiene la propiedad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos. Su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espuma, aun en bajas concentraciones, cuando se acumula en la interfaz aire-agua, gracias a la presencia de proteínas, partículas sólidas finas y sales minerales disueltas. Además, inhibe la actividad biológica y disminuye la transferencia del oxígeno en los cuerpos superficiales.

Los detergentes se determinan mediante el análisis conocido como sustancias activas al azul metileno (SAAM), a través de la cuantificación del cambio de color de una solución estándar de azul de metileno.

**h) Fenoles**

Son compuestos orgánicos comunes en aguas residuales industriales. Dentro del análisis de este compuesto, se pueden considerar a los polifenoles, clorofenoles, fenooxiácidos y cresoles. Estos compuestos pueden causar problemas en aguas de consumo humano, si estas han sido tratadas con cloro. En sistemas biológicos de tratamiento de agua residual, son difíciles de biodegradar, sin embargo, en algunos sistemas se ha reportado que los procesos pueden tolerar hasta 500 mg/L.

### **i) Fósforo**

Es esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas. Es de interés removerlo de las aguas residuales municipales debido a que al ser descargados a los cuerpos de agua superficiales favorecen la eutroficación. La concentración en este tipo de aguas varía de 6 a 20 mg /L y las formas más usuales son los ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos. Los ortofosfatos son aptos para el metabolismo biológico. Los polifosfatos y fosfatos se hidrolizan lentamente y regresan a las formas de ortofosfatos.

### **j) Grasas y Aceites**

Se consideran grasas y aceites a los compuestos de carbón, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua, recubren la superficie con la cual entran en contacto, forman una iridiscencia e interfieren con la actividad biológica, debido a que son difíciles de biodegradar.

### **k) Nitrógeno**

Es un elemento importante ya que las reacciones biológicas sólo pueden efectuarse en presencia de suficiente nitrógeno. Este se encuentra presente en las siguientes formas en el agua.

#### *- Nitrógeno orgánico*

Presente en proteínas, aminoácidos y urea.

#### *- Nitrógeno amoniacal*

Nitrógeno como sales de amoníaco; por ejemplo, carbonato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , amoníaco libre  $(\text{NH}_3)$  o hidróxido de amonio.

#### *- Nitrógeno de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )*

Una etapa intermedia de oxidación que normalmente no se presenta en grandes cantidades.

#### *- Nitrógeno de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )*

Producto final de la oxidación del nitrógeno.

### **l) Oxígeno disuelto**

La solubilidad de oxígeno atmosférico en agua va de 7 mg/L a 35°C a 14.6 mg/L a 0°C, en condiciones de una atmósfera, lo que establece que la concentración de saturación de oxígeno disuelto (OD) depende de la temperatura y la presión atmosférica, que puede relacionarse con la altitud del lugar (metros sobre el nivel del mar).

Cuando se tiene una disponibilidad baja de oxígeno disuelto (OD) se limita la capacidad de purificación de los cuerpos de agua, por lo que si reciben descargas de aguas residuales,

éstas deberán ser tratadas con anterioridad para que no se afecte el equilibrio del cuerpo receptor.

La determinación de OD es el fundamento del cálculo de la DBO y en general para cualquier proceso aerobio. Es importante conocer la cantidad de oxígeno que contiene el agua en un reactor biológico, ya que se debe satisfacer la demanda que ejercen los microorganismos para estabilizar la materia orgánica y que no exista un déficit, por regla general se ha establecido que al menos exista un residual de 2 mg/L. Cuando se vierten aguas residuales a un cuerpo superficial es recomendable que la concentraciones de OD este por arriba de 4 mg/L, para que no existan efectos perjudiciales.

#### **m) Plaguicidas**

Los plaguicidas son compuestos usados para inhibir, matar, repeler o controlar formas de vida de insectos, animales y plantas. Dentro de este tipo de compuestos se pueden incluir a los insecticidas, algicidas, fungicidas y herbicidas, los cuales se componen de cloro, fósforo y carbono, estos son solubles en agua, se bioacumulan, son difíciles de biodegradar y se transmiten a través de la cadena alimenticia.

#### **n) pH**

La intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra se mide en la escala de pH, que en realidad mide la concentración de iones de hidrógeno presentes en una solución.

El pH tiene una escala de 0 a 14, por lo que, un valor de 7 es neutro. Por arriba de 7 el pH es alcalino y por debajo de 7 el pH es ácido.

El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica normalmente se restringe a una escala de pH entre 6 y 8.

Las aguas muy ácidas o muy alcalinas son indeseables debido a que son corrosivas o presentan dificultades en su tratamiento.

#### **o) Potencial de óxido-reducción (Potencial REDOX)**

El potencial REDOX permite, de manera indirecta mostrar hacia donde se desplaza el equilibrio en las reacciones de óxido-reducción que suceden en los cuerpos de agua ó en los reactores biológicos de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Valores positivos de REDOX muestran una oxidación de materia orgánica a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en un medio aerobio y valores negativos son originados por su reducción en un ambiente anóxico ó anaerobio. Es así que, las reacciones aerobias tienen valores mayores a +200 mV y las reacciones anaerobias ocurren a -300 mV. (M. Atlas, *et al*, 2006).

#### **p) Sulfatos**

Es un ion común en aguas residuales. Es utilizado en la síntesis de proteínas y se libera en su descomposición. En condiciones anaerobias los sulfatos son reducidos a sulfuro y puede ocasionar problemas de olor y corrosión.

Puede ocasionar problemas de operación en los procesos biológicos si la concentración es mayor a 200 mg/L.

#### **q) Sulfuros**

Las bacterias anaerobias reductoras de sulfatos utilizan el oxígeno de éstos y producen ácido sulfhídrico. Esto ocasiona problemas de olor y corrosión. Los problemas de olor ocurren a pH menor de 8, debido a que la forma predominante es la del  $H_2S$ . Aunque la concentración de  $H_2S$  de 1 mg/L, causa olor, se ha observado que en sistemas de tratamiento biológico las bacterias pueden tolerar hasta 100 mg/L.

### **1.1.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS**

Casi todos los desechos orgánicos contienen grandes cantidades de microorganismos (patógenos y no patógenos); el agua residual contiene más de 10<sup>6</sup> células bacterianas/mL, pero los números reales presentes regularmente no se determinan. Después del tratamiento convencional del agua residual el efluente todavía contiene una gran cantidad de microorganismos, al igual que muchas aguas superficiales naturales, los microorganismos patógenos deben eliminarse.

#### **a) Coliformes**

La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas de importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y alimentos.

Coliforme significa con forma de coli, refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia coli*, descubierta por el bacteriólogo alemán Theodor von Escherich en 1860. Von Escherich la bautizó como *bacterium coli* ("bacteria del intestino", del griego *κολον*, *kolon*, "intestino"). Con posterioridad, la microbiología sistemática nombraría el género *Escherichia* en honor a su descubridor.

#### **- Caracteres bioquímicos**

El grupo coliforme agrupa a todas las bacterias entéricas que se caracterizan por tener las siguientes propiedades bioquímicas:

- Ser aerobias o anaerobias facultativas
- Ser bacilos Gram negativos
- Ser oxidasa negativos
- No ser esporógenas
- Fermentar la lactosa a 35 °C en 48 horas, produciendo ácido láctico y gas.

#### **- *Hábitat del grupo coliforme***

Las bacterias de este género se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, es decir, homeotermos, pero también ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales.

Los coliformes se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de humanos y animales. Por tal motivo suele deducirse que la mayoría de los coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal. Sin embargo, existen muchos coliformes de vida libre.

#### **- *Los coliformes como indicadores***

Tradicionalmente se ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura.

Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces.

#### **- *Bacterias que integran el grupo***

El grupo coliforme está formado por los siguientes géneros:

- *Escherichia*
- *Klebsiella*
- *Enterobacter*
- *Citrobacter*

#### **- *Coliformes totales y coliformes fecales***

No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efecto de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales —que comprende la totalidad del grupo— y los coliformes fecales —aquellos de origen intestinal—.

Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

### **- Coliformes fecales**

Se define como coliformes fecales a aquellos que fermentan la lactosa a 44,5 – 45,5 °C, análisis que permite descartar a *Enterobacter*, puesto que ésta no crece a esa temperatura. Si se aplica este criterio crecerán en el medio de cultivo principalmente *Escherichia coli* (90%) y algunas bacterias de los géneros *Klebsiella* y *Citrobacter*. La prueba de coliformes fecales positiva indica un 90% de probabilidad de que el coliforme aislado sea *Escherichia coli*.

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de que puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. Sin embargo, el aislamiento de este microorganismo no permite distinguir si la contaminación proviene de excretas humana o animal, lo cual puede ser importante, puesto que la contaminación que se desea habitualmente controlar es la de origen humano. Esto no significa menospreciar la de origen animal, especialmente dada la existencia de zoonosis, enfermedades que son comunes al hombre y animales, que también se pueden transmitir por el agua.

### **-Contaminación fecal humana ó animal**

La *Escherichia coli* de origen animal y la de origen humano son idénticas. Sin embargo, algunos investigadores han encontrado que las bacterias del género *Rodococcus* se asocian solamente a la contaminación fecal por animales.

## **b) Huevos de Helmintos**

Los helmintos o gusanos son animales invertebrados de cuerpo alargado con simetría bilateral y órganos definidos, sin extremidades, con reproducción sexual durante el estadio adulto y con un tamaño variable que oscila entre décimas de milímetro a varios metros. Estos pueden clasificarse en dos grupos, los platelmintos o helmintos planos y los nematelmintos o helmintos redondos.

Se reproducen sexualmente formando huevos fértiles, que dan lugar a larvas de diversas morfologías y tamaño, algunas de las cuales pueden presentar varios estadios en uno o diversos huéspedes intermediarios hasta transformarse en adultos.

Los helmintos pueden ser de vida libre o parasitaria, algunos se hallan bien adaptados a este tipo de vida en uno o más huéspedes.

Una de las formas de diseminación de estos organismos en el medio ambiente, es en su estadio de huevo. En esta forma, se han encontrado en grandes cantidades en las aguas residuales, provenientes de las excretas de individuos enfermos o portadores.

En México, las helmintiasis más frecuentes son las ascariasis (30 %), tricuriasis (21 %), enterobiasis (19 %) y uncinuriasis (17 %). En comunidades rurales y zonas tropicales se ha encontrado más del 90 % de la población infectada entre enfermos y portadores;

se estima que una tercera parte de la población mundial está afectada por ascariasis producida por el nemátodo *Ascaris lumbricoides* (Tay, 1995). La presencia de las formas infectivas (huevos) de estos organismos en el ambiente, especialmente en las aguas para riego, en suelos y cultivos, es uno de los principales indicadores de contaminación fecal (Galván *et al.*, 1996).

## 1.2 ASPECTOS BÁSICOS DE LA MICROBIOLOGÍA DEL AGUA

Las aguas naturales contienen una amplia variedad de microorganismos los cuales forman un sistema ecológico balanceado. Las características biológicas de éste se relacionan principalmente con la población residente en microorganismos y su impacto directo en la calidad del agua. Por esta razón, es necesario conocer los principios básicos de la microbiología.

### 1.2.1 TIPOS DE METABOLISMO

Para garantizar el crecimiento adecuado de un organismo, éste debe tener una fuente de carbono y de energía (nutrientes). De esta forma, elementos como nitrógeno, fósforo y elementos traza como azufre, potasio, calcio y magnesio deben estar disponibles en el agua. Las dos fuentes de carbón para la síntesis de tejido celular son el dióxido de carbono y el carbón presente en la materia orgánica. Si un organismo toma el carbón a partir del dióxido de carbono (carbón inorgánico), es llamado autótrofo, si usa carbón orgánico, es denominado heterótrofo.

Los organismos autótrofos son capaces de sintetizar sus requerimientos orgánicos a partir de la materia inorgánica y pueden crecer independientemente de las sustancias orgánicas externas. Emplean dos métodos para alcanzar este fin:

#### a) Fotosíntesis

Muchas plantas utilizan el carbón inorgánico y la radiación solar para producir materia orgánica y oxígeno.

#### b) Quimiosíntesis

Se utiliza la energía química de los compuestos inorgánicos para suministrar la energía para la síntesis de sustancias orgánicas.

Por su parte, los organismos heterótrofos requieren una fuente externa de materia orgánica; los tres tipos principales son:

- *Saprófitos*

Obtienen la materia orgánica soluble directamente del ambiente circundante o por la ingestión extracelular de compuestos insolubles. Sus requerimientos de alimento pueden



fluctuar desde un simple compuesto orgánico de carbono hasta varios compuestos complejos de carbono y nitrógeno, junto con factores adicionales de crecimiento.

- *Fagótrofos*

Algunas veces llamados formas holozóicas, utilizan partículas orgánicas sólidas.

- *Parátrofos*

Obtienen la materia orgánica a partir de los tejidos de otros organismos vivos, por lo que se denominan parásitos.

La Tabla 1.3 muestra la clasificación de los microorganismos con base en sus requerimientos de carbón y energía.

Tabla 1.3 Clasificación general de los microorganismos

Clasificación	Fuente de energía	Fuente de carbón	Organismos representativos
Fotoautótrofos	Luz	CO <sub>2</sub>	Algas, cianobacterias
Fotoheterótrofos	Luz	Materia orgánica	Bacterias fotosintéticas
Quimioautótrofos	Materia inorgánica	CO <sub>2</sub>	Algunas bacterias
Quimioheterótrofos	Materia orgánica	Materia orgánica	Bacterias

FUENTE: Tchobanoglous y Schroeder, 1987.

### 1.2.2 TIPOS DE MICROORGANISMOS

Por definición, los microorganismos son aquellos organismos muy pequeños que no pueden ser vistos a simple vista, quedando comprendidos en esta categoría un gran número de organismos acuáticos. Los principales grupos de microorganismos presentes en el agua se clasifican como mónera y protistas, algunas veces también hongos. Los virus son un grupo adicional de microorganismos, que no pueden ser clasificados en ninguna de las dos clases anteriores y, por tanto, se clasifican por separado y no son considerados como células verdaderas.

#### 1.2.2.1 VIRUS

Los virus son la forma más simple de un organismo. Son parásitos obligados ya que no tienen la habilidad para sintetizar nuevos compuestos (no tiene metabolismo propio). Su tamaño varía entre 0.01-0.03 $\mu$ m y consisten de material genético – ácido desoxirribonucleico (ADN) o ribonucleico (ARN), dentro de una cubierta proteica. Son altamente específicos tanto en lo que concierne al organismo huésped como a la enfermedad que producen.

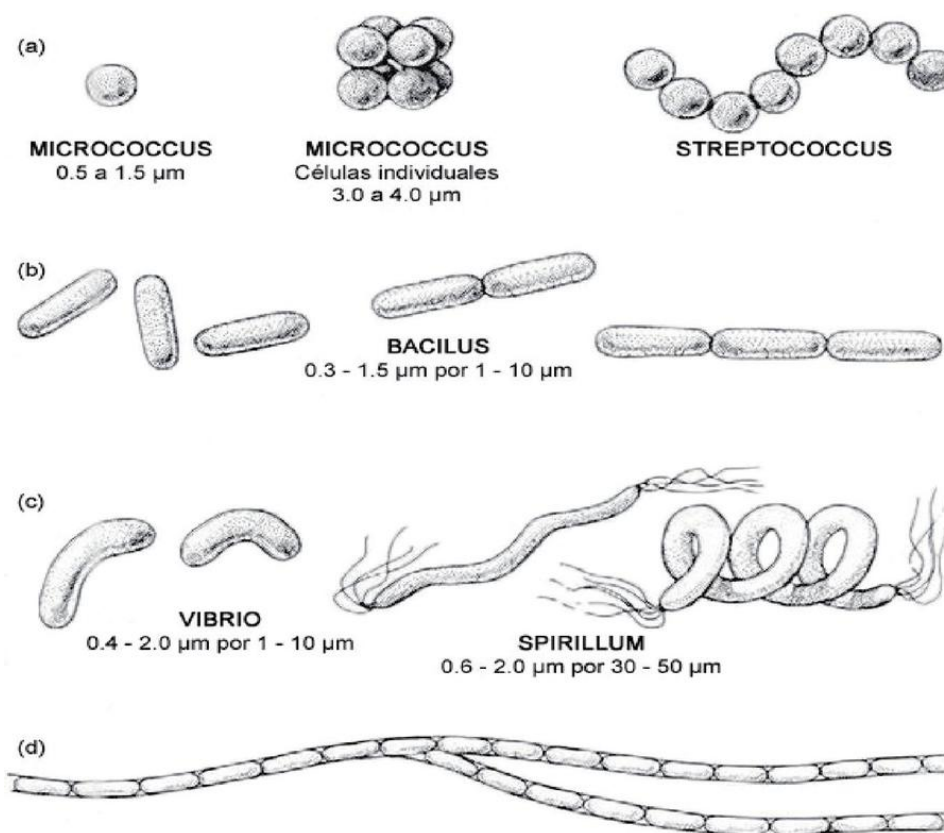


### 1.2.2.2 BACTERIAS

Las bacterias (Figura 1.2) son organismos unicelulares pertenecientes al reino mónera que pueden vivir como autótrofos o heterótrofos y aprovechar el alimento soluble. Algunas bacterias forman esporas resistentes que pueden permanecer latentes por periodos prolongados en condiciones ambientales adversas pero que pueden reactivarse al retornar las condiciones favorables. La mayoría de las bacterias se desarrollan en condiciones de pH neutras, aunque algunas especies pueden existir en un ambiente altamente ácido.

Las bacterias desempeñan una función vital en los procesos naturales de estabilización y se utilizan ampliamente en el tratamiento de aguas residuales. Se conocen alrededor de 1,500 especies que se clasifican con criterios tales como:

- Tamaño, forma y agrupamiento de células características de la colonia
- Reacción a la tinción
- Requerimientos de crecimiento
- Movilidad y reacciones químicas específicas
- Se encuentran en formas aerobias, anaerobias y facultativas



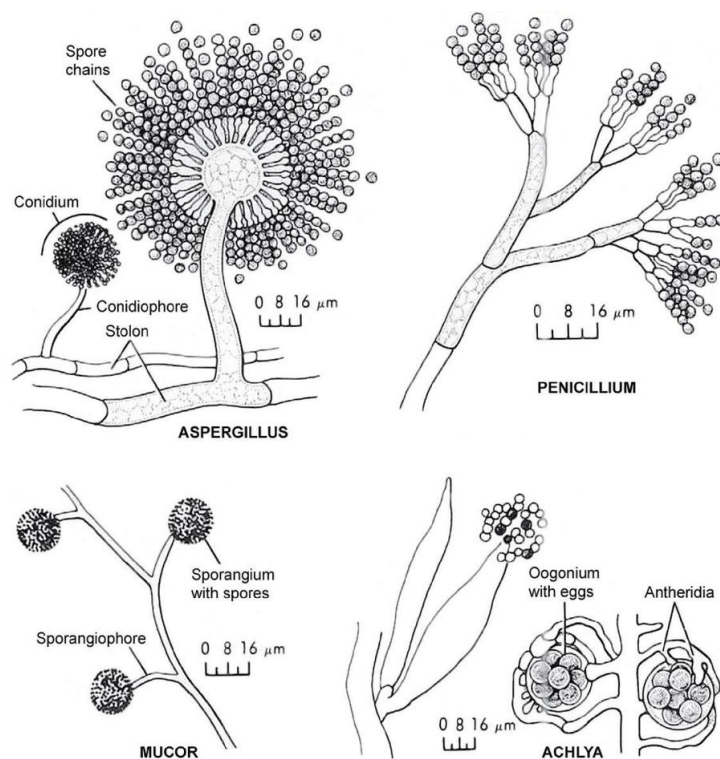
FUENTE: Tchobanoglous, George; Schroeder, Edward D.; Water Quality

Figura 1.2 Tipos de bacterias

### 1.2.2.3 HONGOS

Los hongos son células eucariontes aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y heterótrofos. Algunos hongos son saprofitos, obteniendo su alimento de la materia orgánica muerta. Existen más de 100,000 especies de hongos y su estructura es una compleja masa ramificada de hifas que parecen hilos y cuyo conjunto constituye el núcleo (Figura 1.3).

Al igual que las bacterias, los hongos son organismos responsables de la descomposición del carbón en la biosfera, son capaces de degradar compuestos orgánicos altamente complejos y tienen gran importancia en la descomposición de la materia orgánica en medios acuáticos y terrestres.



FUENTE: Tchobanoglous, George; Schroeder, Edward D.; Water Quality

Figura 1.3 Hongos presentes en el agua residual

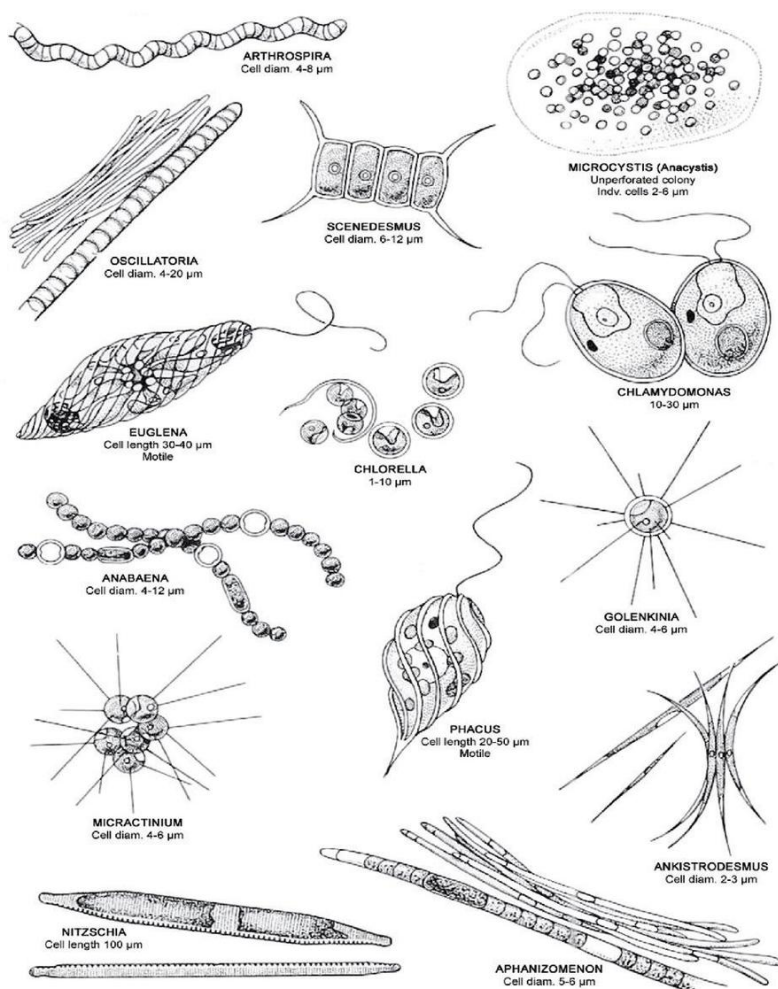
### 1.2.2.4 ALGAS

Las algas (Figura 1.4) son microorganismos eucariontes, autotróficas, fotosintéticas, contienen clorofila y actúan como las principales productoras de materia orgánica en un ambiente acuático.

Los compuestos inorgánicos tales como el bióxido de carbono, el amoníaco, el nitrato y el fosfato proporcionan la fuente de alimento para sintetizar nuevas células de algas y para producir oxígeno.

En ausencia de la luz solar, las algas viven en forma quimiosintética y consumen oxígeno, de modo que en el agua que contiene algas existe una variación diurna de los niveles de oxígeno disuelto (OD), teniendo lugar una sobresaturación de oxígeno durante el día y una disminución significativa durante la noche.

En el agua dulce crece un gran número de algas, que se clasifican en varios tipos: verdes, cafés o amarillas, lo que depende de las proporciones de pigmentos particulares. Existen células solas que pueden ser inmóviles o móviles, si tienen flagelos, o bien como formas filamentosas multicelulares.



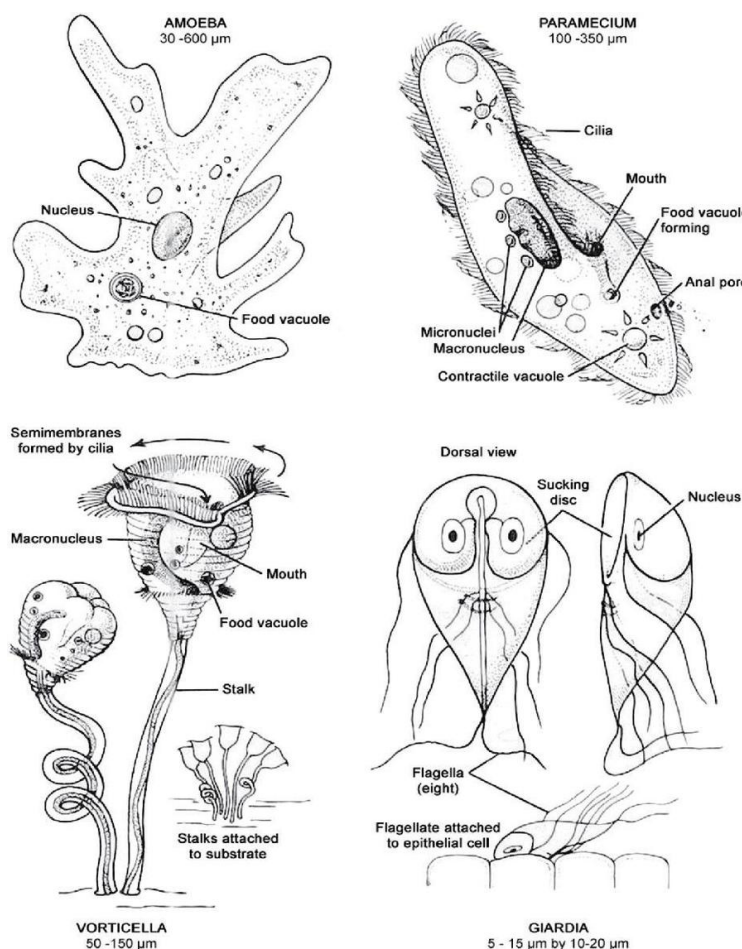
FUENTE: Tchobanoglous, George; Schroeder, Edward D.; Water Quality

Figura 1.4 Especies de algas presentes en el agua residual

### 1.2.2.5 PROTOZOARIOS

Los protozoarios son microorganismos eucariontes unicelulares de 10 a 100  $\mu\text{m}$  de longitud que se reproducen por fisión binaria. Algunos protozoarios se encuentran libres en la naturaleza, mientras que otros son parásitos, viviendo dentro o fuera de un organismo. Los huéspedes varían de organismos primitivos como las algas a organismos complejos, incluyendo al ser humano. La mayoría son heterótrofos aerobios o anaerobios facultativos.

Su fuente principal de alimento son las células bacterianas; sin embargo, no pueden sintetizar todos los factores necesarios para su crecimiento y dependen de las bacterias para que los suministren. Los protozoarios abundantes en el suelo y agua, tienen una participación importante en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. La Figura 1.5 muestra algunos protozoarios presentes en el agua residual.



FUENTE: Tchobanoglous, George; Schroeder, Edward D.; Water Quality

Figura 1.5 Algunos protozoarios presentes en el agua residual

#### 1.2.2.6 FORMAS SUPERIORES DE VIDA

Así como microorganismos, hay en el agua natural organismos más complejos, muchos de ellos visibles a simple vista. Entre estos se incluyen los rotíferos, que son animales multicelulares de cuerpo flexible con cilios en la cabeza para atrapar alimento y darles movilidad y los crustáceos, que son animales multicelulares de concha dura. Ambos grupos son fuente importante de alimentos para los peces y sólo se encuentran en aguas de buena calidad ya que son sensibles a muchos contaminantes y a niveles bajos de oxígeno disuelto.

Los gusanos y las larvas de insectos viven en depósitos del fondo y en algunos procesos de tratamiento biológico; son capaces de metabolizar sustancias orgánicas complejas que otros organismos no degradan rápidamente.

### 1.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y SU CONTROL

En los países desarrollados las enfermedades hídricas son raras, lo que se debe esencialmente a la presencia de sistemas eficientes de abastecimiento de agua y de tratamiento del agua residual. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo cerca de 2000 millones de personas, no cuentan con abastecimiento de agua segura y saneamiento adecuado. Como resultado, las enfermedades hídricas en éstos alcanzan cifras alarmantes.

Actualmente hay una gran preocupación por los posibles riesgos para la salud que pueden surgir a largo plazo por la presencia de pequeñas concentraciones de impurezas en el agua para beber, en especial de compuestos potencialmente cancerígenos. También existen varios contaminantes, de origen natural o producidos por el hombre, que tienen efectos conocidos en la salud de quienes los consumen. Por tanto, es muy importante que se conozca la relación que existe entre la calidad del agua y la salud.

#### 1.3.1 CONTAMINACIÓN DE AGUA

##### 1.3.1.1 DEFINICIONES

De acuerdo a la Norma NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se tienen las siguientes definiciones:

##### a) Aguas nacionales

Las aguas propiedad de la Nación, en términos del párrafo quinto, del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.



b) Agua residual

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas pecuarios, domésticos incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

c) Bienes nacionales

Son bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

d) Carga contaminante

Cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidades de tiempo aportada en una descarga de aguas residuales.

e) Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana solo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, nitritos y nitratos, expresada como mg/L de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

f) Contaminantes patógenos y parasitarios

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana solo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helmintos.

g) Descarga

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

h) Metales pesados y cianuros

Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a

esta Norma Oficial Mexicana solo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

i) Tratamiento convencional

Son los procesos de tratamiento mediante los cuales se remueven o estabilizan los contaminantes básicos presentes en las aguas residuales.

Por otra parte se tiene las siguientes definiciones (Romero R. J., 2005):

a) Aguas residuales domésticas

Aguas provenientes de las viviendas, residencias, fraccionamientos, unidades habitacionales, edificios habitacionales, comerciales e institucionales.

b) Aguas residuales municipales

Aguas transportadas por el drenaje o alcantarillado de una ciudad o población.

c) Aguas residuales industriales

Aguas que provienen de los procesos industriales y manufactureros.

d) Aguas negras

Son las aguas que se generan en los inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.

e) Aguas grises

Aguas que provienen de tarjas, tinas, duchas, lavamanos y lavadoras, que aportan DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales.

#### 1.3.1.2 TIPOS DE CONTAMINANTES

Es importante destacar que la contaminación es producto de las actividades diarias de los seres humano y que se generan a partir del empleo y procesamiento de los recursos naturales, para generar energía y bienes de consumo, y que durante su proceso se genera una gran diversidad de desechos, en donde algunos pueden ser reutilizados o reusados, sin embargo, una parte importante de éstos son sustancias contaminantes que van directamente al agua, aire y suelo. Lo que provoca un efecto directo en los ciclos de vida tanto del medio ambiente como del propio ser humano (Figura 1.6).

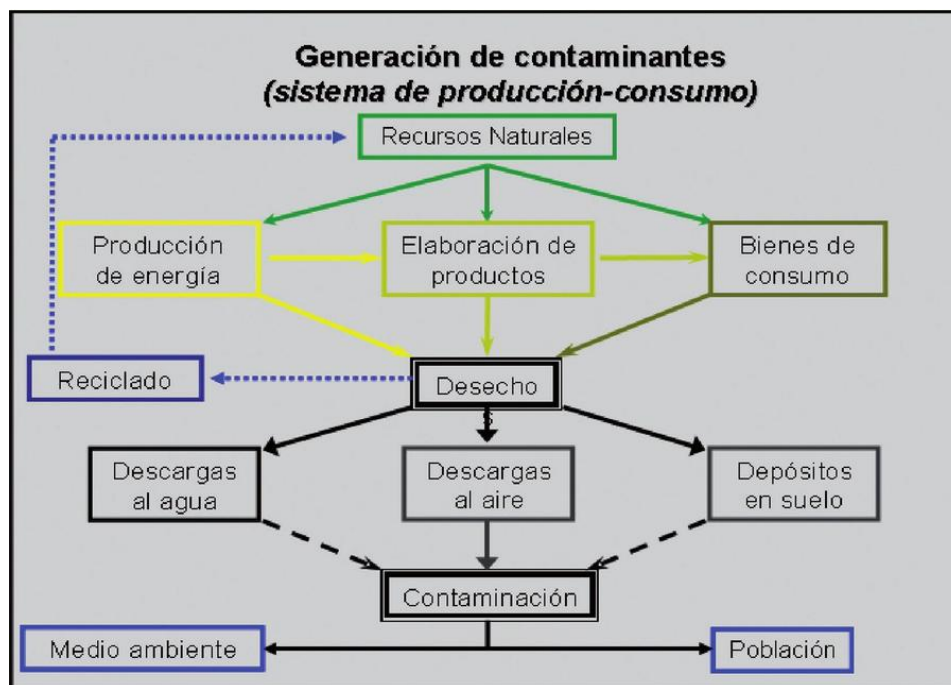


Figura 1.6 Generación de contaminantes

Tomando como centro de interés el agua, es importante tener presente que todas las aguas naturales contienen varios contaminantes que provienen de la erosión, la lixiviación y los procesos de degradación a la intemperie.

A esta contaminación natural se agrega aquella causada por las aguas residuales de origen doméstico o industrial, que por lo común se eliminan descargándolas, por ejemplo, en el mar, en estratos subterráneos o, más comúnmente, en aguas superficiales.

Cualquier cuerpo de agua es capaz de asimilar cierta cantidad de contaminantes, sin mostrar efectos serios, debido a los factores de dilución y autopurificación que están presentes. Si hay contaminación adicional, se altera la naturaleza del cuerpo de agua receptor y deja de ser adecuado para sus diferentes usos.

Por lo anterior, es importante conocer los efectos de la contaminación, así como las medidas de control disponibles para el manejo eficiente de los recursos hidráulicos.

Los contaminantes que afectan la calidad del agua se pueden clasificar de la siguiente forma (Figura 1.7):

#### a) Compuestos infecciosos y tóxicos

Aquí se incluye una amplia variedad de sustancias que han demostrado tener impacto negativo en el ser humano al estar presentes en el agua potable a la cual utilizan como vehículo de transporte. Las bacterias son las representativas de los compuestos infecciosos





Figura 1.7 Clasificación de contaminantes.

relacionándolas con grandes epidemias, también se encuentran los virus, protozoarios, helmintos, gusanos y otros organismos patógenos.

El arsénico, plomo, mercurio, cadmio, otros metales en su mayoría pesados, y algunos compuestos orgánicos pueden provenir de operaciones de acabado y cromado de metales, repelentes de polilla utilizados en la manufactura de textiles, herbicidas y plaguicidas, etc. El efecto que causan en el ser humano es tan importante que pueden llegar a modificar el material genético en las células de los seres vivos.

#### **b) Materiales orgánicos**

Algunos compuestos orgánicos son utilizados por los microorganismos presentes en la corriente como fuentes de energía y crecimiento. El proceso metabólico en estas transformaciones causa el rompimiento de los compuestos orgánicos generando estructuras más sencillas y residuos. De esta forma, las reacciones bioquímicas llevadas a cabo emplean el oxígeno disuelto en el agua, limitando la disponibilidad de éste en la corriente.

El valor de la DBO depende del tipo y cantidad de compuestos orgánicos presentes, número y tipo de organismos en el agua, temperatura, pH, presencia de nutrientes y elementos traza necesarios para el crecimiento. La presencia en exceso de organismos y/o materiales puede causar el agotamiento del oxígeno disuelto y la muerte de los organismos superiores (peces). Además, la ausencia de oxígeno disuelto afecta el crecimiento de los microorganismos aerobios y favorece el predominio de los organismos anaerobios que generan subproductos causantes de olores desagradables.

La reducción del oxígeno disuelto (OD) en las corrientes de agua, ha recibido especial atención en los estándares de calidad, por esta razón la prueba de la DBO es una medida para evaluar las características de las descargas de aguas residuales; este método es práctico y directo para medir el oxígeno consumido por los organismos durante la estabilización bioquímica de la materia orgánica.

Otro tipo de sustancias que entorpece la transferencia de oxígeno a través de la interfase aire-agua son las grasas y aceites, ya que forman películas que no permiten la transferencia de oxígeno.

#### **c) Compuestos orgánicos volátiles**

Algunos compuestos no se descomponen a través de la acción biológica, por lo que pueden permanecer durante largos periodos o indefinidamente. Se ha encontrado que los plaguicidas y los hidrocarburos clorados, que son resistentes al ataque bioquímico, pueden generar problemas crónicos o agudos en la salud.

#### **d) Nutrientes**

Los microorganismos requieren de elementos que son necesarios para su crecimiento y reproducción. Estos elementos incluyen carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y algunos otros, presentes en cantidades traza, cuando alguno de ellos no existe, el crecimiento y reproducción se afectan.

Un exceso de N y P debido a descargas residuales sin tratar pueden causar problemas de eutrofización en cuerpos de agua ya que favorecen el crecimiento excesivo de algas y malezas acuáticas.

#### **e) Materia suspendida**

La materia suspendida tiene un tamaño de partícula mayor que las moléculas disueltas y los iones, dividiéndose en partículas suspendidas y coloidales. La materia suspendida presenta efectos desagradables en la calidad del agua. Por ejemplo, el incremento de la turbiedad restringe los usos que se pueden obtener del agua tratada. Además, las partículas interfieren con la penetración de la luz, causando un impacto considerable a los organismos acuáticos que dependen de ella para crecer y reproducirse. Por lo que tienen una gran influencia sobre el balance ecológico de los cuerpos de agua.

La materia suspendida está presente en las corrientes y lagos debido a que es arrastrada en el agua superficial de campos de cultivo y áreas urbanas, o por la descarga de residuos industriales o municipales. Por ejemplo, los compuestos de hierro presentes en los efluentes de las fábricas de acero o minas de carbón abandonadas reaccionan con la alcalinidad y el oxígeno presentes en la corriente formando precipitados que impactan en diferente forma el estado natural de la corriente.

Por otro lado, la materia suspendida puede estar formada por los sólidos suspendidos y por los sedimentables. Los cuales sedimentan en el fondo de los ríos, lagos, lagunas, o estanques creados con ese fin. Cuando los sólidos sedimentados contienen gran cantidad de materia orgánica su descomposición crea problemas de olor, pero el efecto más importante es la reducción de la capacidad de los cuerpos de agua debido a la sedimentación, provocando así la destrucción de la vida acuática.

#### **f) Temperatura**

La temperatura es el principal ejemplo de la complejidad del agua ya que puede ser dañina o benéfica dependiendo de las circunstancias. El mayor impacto del incremento de la temperatura en las corrientes es que abate el valor de la fuente para sus usos posteriores. Asimismo, intensifica los problemas de sabor y olor en el agua potable.

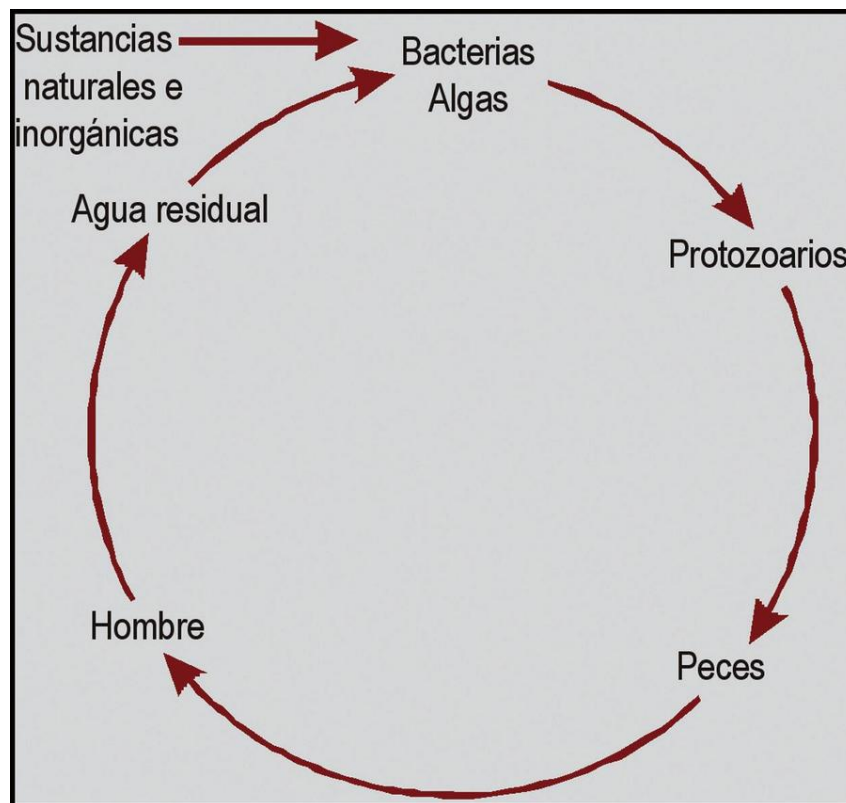
El valor de la DBO se incrementa sustancialmente con el aumento en la temperatura, por las siguientes razones:

- La rapidez de la reacción bioquímica en la corriente se acelera con el incremento de la temperatura, lo cual reduce el oxígeno disuelto (OD) disponible del sistema.
- Las altas temperaturas abaten el reabastecimiento del oxígeno consumido en las reacciones, al aumentar la temperatura se acelera la muerte de algunas especies.

#### **1.3.1.3 VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES**

En las corrientes de agua en estado natural, existe un equilibrio entre la vida vegetal y animal, mediante una gran interacción entre las diversas formas de vida que aseguran el proceso de autodepuración (Figura 1.8). Las aguas de buena calidad se caracterizan por una gran diversidad de especies sin predominio de unas o de otras. La materia orgánica vertida a un cauce es descompuesta por bacterias a nitrógeno amoniacal, nitratos, sulfatos, bióxido de carbono, etc., los cuales son utilizados por plantas y algas para producir carbohidratos y oxígeno. Las especies vegetales sirven de alimento a animales microscópicos (rotífero, etc.), los cuales a su vez, sirven de alimentos a crustáceos, insectos, gusanos y peces. Algunos animales se alimentan de los residuos producidos por otros, ayudando de esta manera a la degradación bacteriana.

Si la concentración de materia orgánica vertida es grande, el crecimiento bacteriano será muy alto con una disminución del oxígeno disuelto (OD), lo cual afecta el equilibrio mencionado. Como se dijo, los efluentes líquidos son eliminados mediante su vertido a aguas superficiales, tanto directamente como a terrenos que drenen a las mismas; por descarga en aguas subterráneas, de forma directa mediante inyección en pozos profundos o indirecta por percolación, o por evaporación a la atmósfera. Cualquiera que sea la forma de eliminación final utilizada, los efluentes deben tratarse previamente hasta por lo menos, un nivel equivalente al del tratamiento secundario de manera que se cumpla con la legislación vigente y no altere negativamente el ecosistema donde se descarga.



FUENTE: Noyola-Robles, A., *et al*, 2000

Figura 1.8 Ciclo de autopurificación

Esto puede ser conocido como el ciclo urbano del agua, que se ilustra en la Figura 1.9.

Cuando la descarga de agua residual se realiza en un cuerpo de agua pueden presentarse los siguientes fenómenos: dilución, dispersión, sedimentación y desinfección.

#### a) Dilución

La dilución con un gran volumen de agua que contenga una cantidad importante de OD ayuda a reducir la posibilidad de ocurrencia de efectos contaminantes. Por el contrario, los efluentes vertidos a corrientes de agua de poco caudal, necesitan de tratamiento intensivo si se quiere cumplir con las normas de calidad del agua.

#### b) Dispersión

Las corrientes colaboran en la dispersión del agua residual en el agua, lo que disminuye la posibilidad de crear zonas con altas concentraciones de contaminantes. La existencia de remolinos y retrocesos de las aguas pueden dar lugar a la sedimentación de los

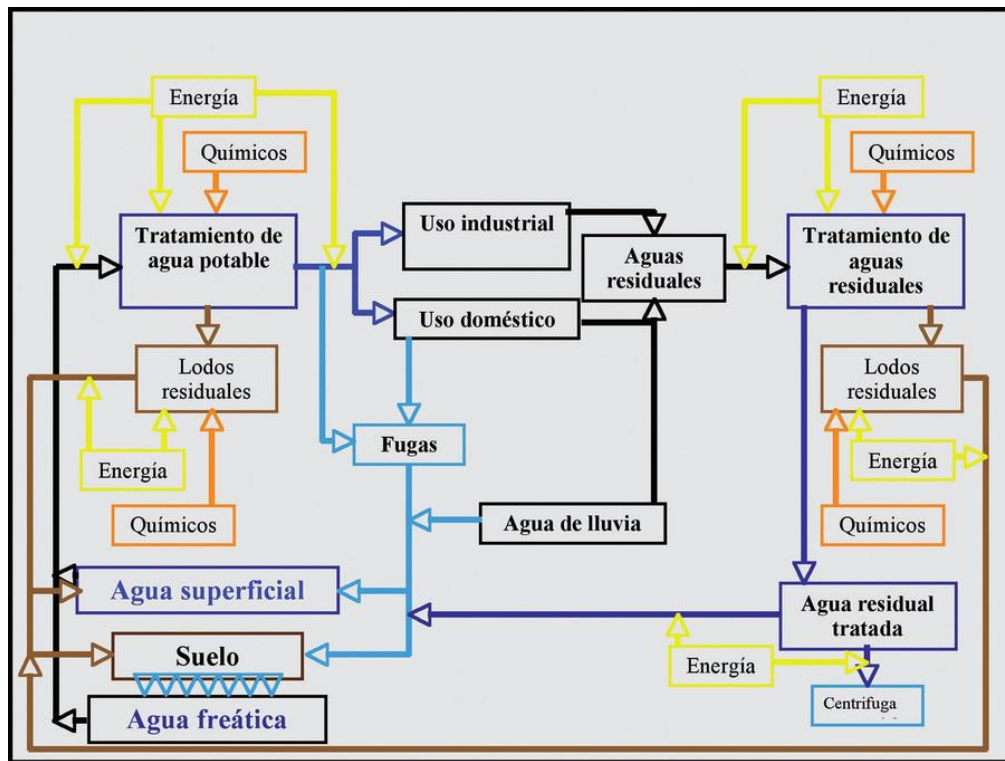


Figura 1.9 Ciclo urbano del agua

sólidos suspendidos, provocando la formación de bancos de lodo y la producción de malos olores. Las corrientes rápidas favorecen la aeración, a la vez que reduce el tiempo de recuperación; pero puede aumentar la longitud del tramo de la corriente afectado por el vertido.

### c) Sedimentación

Los sólidos suspendidos y los sedimentables elevan la demanda de oxígeno, estos pueden ser eliminados por sedimentación si la velocidad de la corriente es menor que la de arrastre de las partículas. Tal eliminación mejora la calidad del agua después de la zona de sedimentación, pero no cabe duda que es perjudicial en el punto donde los sólidos se acumulan.

### d) Desinfección

La luz solar actúa como desinfectante y estimula el crecimiento de las algas. Estas producen oxígeno durante el día, pero lo consumen durante la noche. Las aguas que contienen grandes desarrollos de algas pueden llegar a sobre-saturarse de OD durante las horas de sol y tornarse anaerobias durante la noche.

### 1.3.2 CRITERIOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Debido a la necesidad de conciliar las diferentes demandas de los recursos hidráulicos, la mayoría de los países tienen leyes para controlar la contaminación, conservar y, tal vez mejorar, la calidad del agua. En este contexto es útil citar la definición de la Comunidad Económica Europea (CEE): “La contaminación del agua es la descarga efectuada por el hombre de sustancias diversas al medio ambiente acuático, que pone en riesgo la salud humana, daña los recursos vivos y los ecosistemas acuáticos, impide su uso para fines recreativos o interfiere otros usos legítimos del agua”. Se concluye que para que una descarga se denomine contaminante, debe haber evidencia de deterioro o daño.

Cuando se establecen métodos para el control de la contaminación del agua, los patrones se pueden basar ya sea en calidad del agua requerida por el cuerpo receptor (enfoque de objetivos de calidad del río) o bien pueden aplicarse directamente al influente sin referencia a la calidad del agua del cuerpo receptor (enfoque de patrones de emisión). El método de objetivos de calidad resulta lógico pero puede ser causa de problemas cuando se agrega una nueva descarga al sistema, ya que todos los niveles de descarga existentes deben revisarse río abajo o la nueva descarga y se puede enfrentar un estándar de calidad para el agua muy alto, imposible de lograr.

Podría ser desigual el grado de tratamiento requerido para aguas residuales similares que se descargan en diferentes tramos de un mismo río. Un efluente aguas abajo podría requerir más tratamiento debido a que el agua de dilución sería de una calidad inferior como resultado de la descarga aguas arriba.

Desde el punto de vista administrativo, el concepto de patrones de emisión es conveniente en el sentido que el estándar se aplica a todas las descargas similares, pero tiene la desventaja que no se toman en cuenta las características de autopurificación del agua receptora ni de su uso aguas abajo.

El compromiso de adoptar patrones de emisión basados en el uso del agua receptora tiene el mérito de ser más fácil de implantar que los patrones para agua receptora, pero no asegura por sí mismo la conservación de la calidad del agua en condiciones cambiantes de descarga del efluente.

Un esquema de cobro alienta a los usuarios industriales a tomar acciones para reducir el volumen y la concentración del agua residual por medio de un mejor control de los procesos y, si es posible, una modificación de los mismos. Si los desechos industriales se descargan al sistema de drenaje principal, es importante asegurarse que el agua residual



no contenga material que dañe el alcantarillado, a los trabajadores del drenaje o a los procesos de tratamiento de agua residual. Por esto en algunos casos puede ser necesario dar un pretratamiento en la industria antes de hacer una descarga al alcantarillado.

La política de “el que contamina paga”, algunas veces invocada para tratar las descargas de desecho industrial, puede no ser totalmente satisfactoria a no ser que las cuotas se fijen racionalmente. En algunas situaciones un industrial podría preferir considerar como gasto de operación y pagar el costo de causar contaminación en vez de invertir capital en una planta de tratamiento. Tal enfoque tendría efectos directamente perjudiciales en la calidad del agua del cuerpo receptor.

Consideraciones similares a las descritas se aplican para el control de la contaminación del agua subterránea aunque aquí, debido a la dificultad de rectificar el daño causado al acuífero, se prefiere el empleo de factores de seguridad mayores que los usados para la descarga en agua superficial.

Se debe tener un cuidado especial para proteger acuíferos importantes y en algunos casos la eliminación subterránea de los desechos líquidos y los tiraderos de desechos sólidos con problemas de lixiviación, sólo se permiten si sabe que el acuífero está completamente aislado de la fuente potencial de contaminación.

En el caso de aguas de mar, las descargas se pueden reglamentar de acuerdo a los parámetros normales físicos y químicos que se usan para las descargas tierras adentro, con ajustes adecuados que tomen en cuenta la dilución disponible. Así, en situaciones con una dilución adecuada, la descarga de agua residual con desechos cribados o triturados puede ser aceptable.

Cuando la principal preocupación es en relación con playas o banco de moluscos, es probable que los efectos bacteriológicos de la contaminación por agua residual sean de los más significativos.

Aunque las implicaciones en la salud por contaminación bacteriológica de las aguas de mar son difíciles de cuantificar, las diferentes autoridades han fijado los patrones de calidad para el agua para bañarse de acuerdo con los recuentos de coliformes, que varían de 100 NMP/100 mL en California a 10 000 NMP/100 mL en la CEE. De esta manera las normas locales, ajustadas a condiciones particulares climáticas y ambientales, son más apropiadas que los patrones universales.





A través de los años, se han desarrollado una gran variedad de métodos para el tratamiento del agua residual. En muchos casos, se combinan varios procesos dependiendo de la calidad del agua residual que se va a tratar y del grado de tratamiento que se debe alcanzar.

El principal objetivo del tratamiento del agua residual es producir un efluente que pueda ser descargado sin causar daños al medio ambiente. Los contaminantes del agua residual pueden ser eliminados por medios físicos, químicos y biológicos.

Los principales contaminantes presentes en el agua residual y los procesos más comúnmente empleados para su remoción se resumen en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Procesos y sistemas de tratamientos

Contaminantes	Proceso o sistema de tratamiento	Clasificación
Sólidos suspendidos	Cribado y desmenuzado	F
	Sedimentación	F
	Flotación	F
	Filtración	F
	Coagulación/sedimentación	Q/F
Orgánicos biodegradables	Lodos activados	B
	Filtro percolador	B
	Discos biológicos rotatorios	B
	Lagunas aeradas	B
	Lagunas de oxidación	F/B
	Filtración en arena	B/Q/F
Patógenos	Físico/químico	F/Q
	Cloración	Q
Nutrientes Nitrógeno	Ozonación	Q
	Nitrificación y desnitrificación con biomasa suspendida	B
	Nitrificación y desnitrificación con biomasa fija	B
	Arrastre con amoníaco	Q/F
	Intercambio iónico	Q
	Cloración en el punto de quiebre	Q

Tabla 2.1 Procesos y sistemas de tratamientos (continuación).

Contaminantes	Proceso o sistema de tratamiento	Clasificación
Fósforo	Coagulación/sedimentación con sales metálicas	Q/F
	Coagulación/sedimentación con cal	Q/F
	Remoción bioquímica	B/Q
Orgánicos refractarios	Absorción con carbón activado	F
	Ozonación	Q
Metales pesados	Precipitación química	Q
	Intercambio iónico	Q
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio iónico	Q
	Ósmosis inversa	F
	Electrodialisis	Q

Q = Químicos, F = Físicos y B = Biológicos

## 2.1 PROCESOS FÍSICOS

Tratamiento en el que se llevan a cabo cambios a través de la aplicación de fuerzas físicas. Las unidades típicas incluyen cribado, regulación, sedimentación, flotación y filtración.

### 2.1.1 CRIBADO

El cribado es un método que elimina los contaminantes más voluminosos o material visible del agua residual. Los cribadores se clasifican en función del tamaño de la partícula removida, como finos o gruesos y se utilizan como parte del tratamiento primario. El cribado sirve como instrumento de protección del equipo electromecánico.

### 2.1.2 REGULACIÓN

El proceso de regulación se lleva a cabo en un tanque de homogeneización y su función es eliminar las variaciones del flujo o caudal para lograr que este se mantenga constante. Esta técnica se aplica principalmente para la regulación de:

- Caudales en tiempo seco.
- Caudales en tiempo de lluvia, procedentes de redes de alcantarillado separadas.
- Caudales mixtos de aguas pluviales y residuales sanitarias e industriales.

Las ventajas que se obtienen con la aplicación de este proceso son:

- Aumenta las características de tratabilidad del agua residual.

- Mejora el tratamiento biológico por medio de la eliminación o disminución de los efectos causados por cargas orgánicas e hidráulicas bruscas, a través de la dilución de sustancias inhibidoras y de la estabilización del pH.
- Mejora la calidad del efluente y el rendimiento de los tanques de sedimentación secundario al trabajar a cargas de sólidos constantes.
- Mejora el control de la dosificación de reactivos.

### 2.1.3 *SEDIMENTACIÓN*

Algunas de las impurezas del agua por su tamaño y mayor densidad pueden ser eliminadas por sedimentación, mediante la acción de la gravedad.

Se le da el nombre de sedimentador, a la estructura que sirve para reducir la velocidad de las aguas negras para que puedan sedimentar los sólidos y se utiliza como tratamiento primario.

Es importante tener presente que el tamaño del sedimentador es función del caudal y velocidades de decantación de las partículas. Sin embargo, el equipo disponible para la recolección y eliminación de lodos puede condicionar las dimensiones. Las proporciones longitud-anchura empleadas con mayor frecuencia oscilan entre 3:1 y 5:1. Las pendientes del fondo oscilan entre 1% para tanque rectangulares y de 7 a 8% para tanques circulares.

### 2.1.4 *FLOTACIÓN*

La flotación es una operación unitaria utilizada para separar diferentes fases líquidas o sólidas de una fase líquida. La separación se lleva a cabo al introducir burbujas finas de gas (generalmente aire) en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, la fuerza ascendente del conjunto partícula-burbuja de gas es tal, que hace que suba a la superficie. De esta forma se logra el ascenso de las partículas de densidad mayor que el líquido. La elevación de las partículas con densidad menor que el líquido puede también verse facilitada (aceite en agua). Una vez que las partículas están flotando en la superficie, pueden recogerse mediante un desnatador.

En el tratamiento de aguas residuales la flotación se utiliza para eliminar la materia suspendida y concentrar los lodos biológicos. La principal ventaja de la flotación sobre la sedimentación, es que las partículas muy pequeñas o ligeras se eliminan fácilmente en un menor tiempo.

### 2.1.5 *FILTRACIÓN*

En el tratamiento del agua residual, la filtración se utiliza para eliminar el flóculo biológico del efluente secundario o los precipitados de la remoción química del fósforo. El desecado



de los subproductos (lodos) del tratamiento de aguas, es otra de las aplicaciones del proceso.

En suma, la filtración se utiliza en los tres campos de tratamiento de agua: la potabilización, la depuración de aguas residuales y el tratamiento de lodos.

El medio granular que se ha utilizado incluye arena, carbón de antracita triturada, tierra de diatomeas, carbón activado en polvo o granulado. El medio granular puede ser de un sólo tipo o de una combinación de estos. Un filtro de doble lecho que se utiliza extensamente consiste de una capa de carbón sobre arena. Los filtros de medio múltiple consisten, por ejemplo, en carbón, arena sílice y arena de granate. El medio más comúnmente usado es el de arena de sílice.

Los mecanismos implicados en la eliminación de materia en suspensión por un filtro son muy complejos. Muchos investigadores han discutido los diversos factores que pueden tener una influencia importante en el proceso. Los mecanismos dominantes dependen de las características físicas y químicas de la suspensión y del medio, velocidad de filtración y características químicas del agua.

## 2.2 PROCESOS QUÍMICOS

Operaciones en las cuales la remoción o tratamiento de los contaminantes se realiza mediante la adición de reactivos que llevan a cabo diferentes reacciones químicas.

### 2.2.1 COAGULACIÓN

El proceso de coagulación consiste en la desestabilización (coagulación) de partículas con o sin ayuda de un coagulante químico, para formar flóculos de mayor tamaño capaces de ser separados por procesos subsecuentes como la sedimentación o la filtración. El proceso de coagulación ha sido usado como pretratamiento incrementando la remoción de la materia suspendida y/o para reducir la carga biológica de las unidades de tratamiento secundario.

El reactivo más utilizado, por su bajo costo, es el sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Este tratamiento se aplica en situaciones específicas, por ejemplo, cuando:

- Eliminación de materia coloidal del agua, turbiedad y color.
- El agua residual contiene gran cantidad de compuestos tóxicos.
- Los componentes del agua residual no son biodegradables.
- Los reactivos para el tratamiento se encuentran disponibles a bajo costo.
- Se desea garantizar la remoción de los sólidos.
- Como pretratamiento en un tren de tratamiento avanzado (es decir, después del tratamiento secundario) con el fin de aumentar la eficiencia de los procesos subsecuentes de remoción, por la eliminación del material coloidal.

También se cuenta con materiales usados en concentraciones relativamente pequeñas que aceleran el proceso de coagulación. Estos se clasifican en: a) oxidantes (cloro y el ozono), b) agentes ponderados (arcilla), c) sílice activado y d) polielectrolitos (Culp, 1977).

### **2.2.2** *PRECIPITACIÓN QUÍMICA*

La precipitación química es un proceso que consiste en la adición de reactivos con el propósito de que reaccionen con compuestos solubles específicos, en residuos líquidos, para formar compuestos químicos diferentes que cambian su estado físico y pueden separarse.

La precipitación de los hidróxidos metálicos es función de la concentración del ion metálico y del pH. En general, a medida que el pH aumenta, la solubilidad del hidróxido metálico disminuye.

### **2.2.3** *OXIDACIÓN QUÍMICA*

El propósito de la oxidación en el tratamiento de aguas es convertir especies químicas no deseables en especies que no sean peligrosas ni deterioren la calidad del agua.

El nivel de oxidación deseado es determinante desde el punto de vista económico, tanto por los reactivos oxidantes, como por el diseño de unidades con el tamaño adecuado para lograr el tiempo de reacción.

La adición de químicos fuertes como el ozono, es por lo general caro, mientras que el uso de otros oxidantes más baratos, como el cloro, no pueden ser empleados indiscriminadamente debido a la formación de compuestos orgánicos clorados, como los trihalometanos.

### **2.2.4** *INTERCAMBIO IÓNICO*

Las operaciones de intercambio iónico son básicamente reacciones químicas de sustitución entre un electrolito en solución y otro en estado insoluble. El mecanismo de estas reacciones y las técnicas utilizadas para lograrlas son parecidas a las de la absorción, que para los fines de la ingeniería, el intercambio iónico puede considerarse simplemente como un caso especial de la absorción (Treybal, 1984).

Los iones son retenidos por acción de fuerzas electrostáticas localizadas en grupos funcionales en la superficie de los sólidos. Los materiales de intercambio iónico son gránulos contenidos en lechos empacados (resinas) que pueden ser regenerados. Sin embargo, los principales problemas en el uso de intercambio iónico son la regeneración de la resina en forma eficiente, la disponibilidad o recuperación de la solución de lavado y el tiempo de vida de las resinas.



### 2.2.5 DESINFECCIÓN

Es la destrucción de organismos potencialmente dañinos y comúnmente, constituye la etapa final de todo tratamiento del agua. En las plantas de tratamiento debe ponerse especial atención en la selección de esta etapa para evitar la formación de compuestos no deseados.

La desinfección puede realizarse aplicando métodos físicos (elevación de la temperatura, luz ultravioleta) o químicos en los que se usan sustancias llamadas desinfectantes, como son el cloro, el ozono y los iones metálicos.

Un desinfectante ideal para el agua debe cumplir con las siguientes propiedades:

- Destruir todas las clases y cantidades de agentes patógenos.
- No ser tóxico para el hombre y los animales domésticos.
- No tener un sabor desagradable.
- De costo razonable.
- De manejo, transporte, almacenamiento y aplicación seguros y fáciles.
- Proporcionar protección residual contra la posible contaminación en las líneas de conducción y tanques de almacenamiento.
- No reaccionar con los compuestos presentes en el agua para producir sustancias tóxicas.

El tiempo de contacto es comúnmente señalado como la variable más importante en la desinfección. Chick en 1908, estableció que existe una relación inversamente proporcional entre el número de microorganismos sobrevivientes a la acción de un desinfectante y el tiempo de contacto. Dependiendo del tipo de agente químico, se ha observado que su eficiencia es función de su concentración.

El tipo de microorganismos también influye en la eficiencia de la desinfección, por ejemplo, las esporas de las bacterias son extremadamente resistentes, en contraste las bacterias en crecimiento son fácilmente eliminadas.

La eficacia de desinfección de los agentes físicos es una función de la intensidad, análogo a la concentración de los agentes químicos. Por otra parte, un incremento en la temperatura acelera la tasa de muerte de microorganismos.

## 2.3 PROCESOS BIOLÓGICOS

En los procesos biológicos la materia orgánica contaminante que se encuentra en forma coloidal o soluble es utilizada como alimento por los microorganismos presentes en los

tanques o reactores. De esta forma pueden obtener la energía necesaria para reproducirse y llevar a cabo sus funciones vitales. La materia orgánica es transformada en nuevas células y otros productos que pueden ser más fácilmente separados del agua.

La principal división entre los procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales, se hace con base en la forma en que los microorganismos realizan sus procesos metabólicos en donde según sea el aceptor final de electrones se clasifican en procesos aerobios (requieren oxígeno molecular  $O_2$  como aceptor final de electrones) y los anaerobios que utilizan el  $CO_2$  como aceptor final de electrones. Esto se traduce en sistemas muy diferentes entre sí, tanto en su microbiología como en sus aplicaciones, su ingeniería y su control.

Dado que los microorganismos son los responsables de llevar a cabo el proceso biológico, sus características metabólicas determinarán el tipo de aplicación, así como sus ventajas y desventajas.

Las principales características, de los procesos aerobios y anaerobios, desde el punto de vista energético se esquematizan en la Figura 2.1. En ésta se observa que la energía contenida en la materia orgánica contaminante, es utilizada por los microorganismos como demanda química de oxígeno (DQO) o como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), esta es transformada en diversos productos dependiendo del metabolismo aerobio o anaerobio de la célula. En general, una bacteria anaerobia utilizará el 10% de la energía contenida en su alimento o sustrato para funciones de reproducción, lo que da origen a nuevas células y el 90% restante lo dirigirá a la producción de gas metano. Por su parte, una bacteria aerobia empleará, en presencia del oxígeno, de un 60 a 65% de la energía del sustrato en la síntesis de nuevas células, mientras que la fracción restante es disipada en forma de calor.

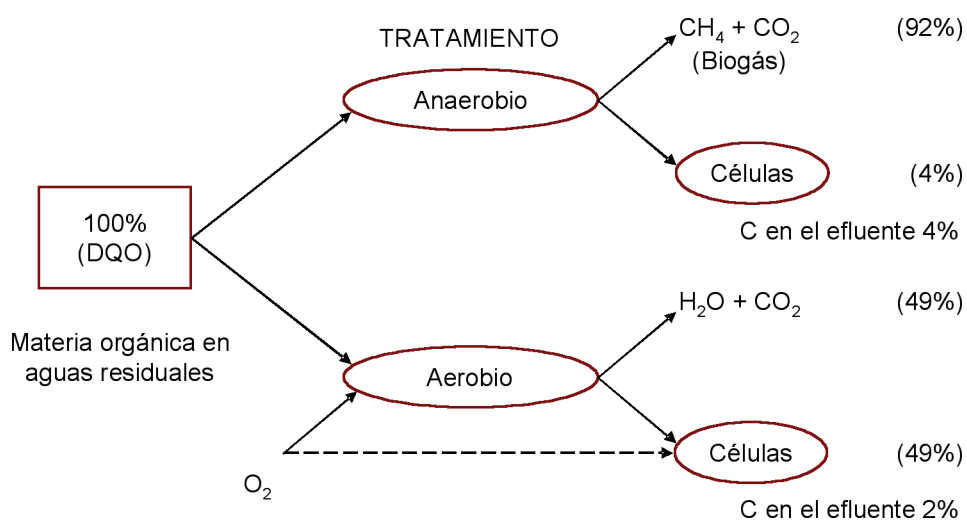


Figura 2.1 Flujo de energía en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales

### 2.3.1 SISTEMAS AEROBIOS

La tecnología del tratamiento de aguas residuales por vía aerobia está bien desarrollada y es sin duda la más comúnmente aplicada. La experiencia acumulada y las altas eficiencias en la remoción de la materia orgánica son algunas de las razones de su aceptación.

Existe un buen número de procesos aerobios, los que a su vez se subdividen en variantes. En general pueden agruparse (Figura 2.2) en procesos de tipo extensivo (lagunas), procesos de biomasa en suspensión (lodos activados en diversas formas) y proceso de biopelícula (filtros percoladores y biodiscos).

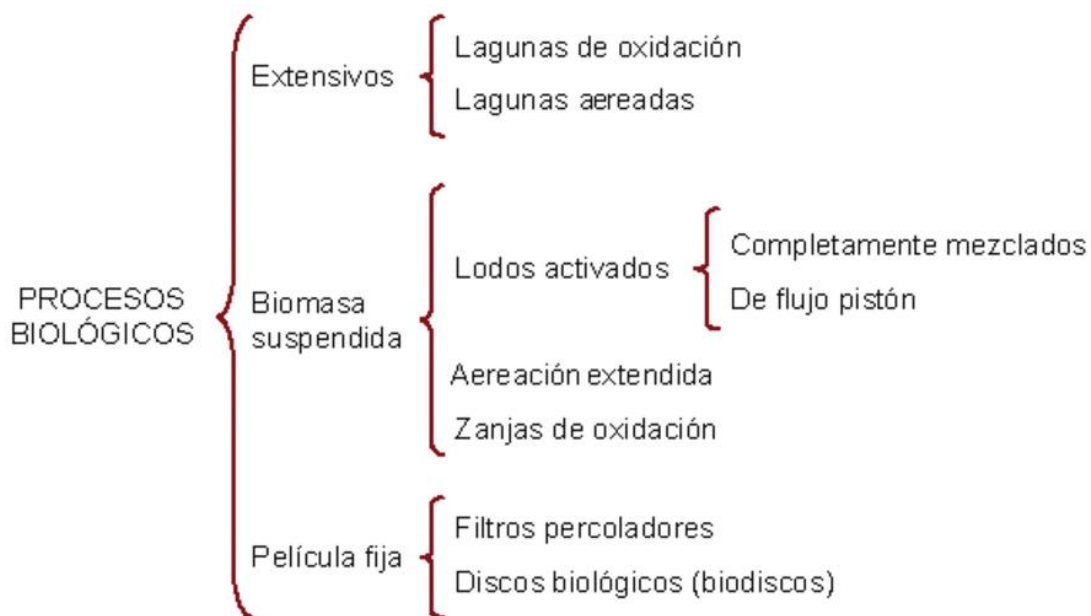


Figura 2.2 Variantes de los procesos aerobios

#### 2.3.1.1 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

##### a) Descripción del proceso

Las lagunas de estabilización son cuerpos de agua creados artificialmente, normalmente contruidos de tierra, presentan un bordo libre entre 0.5 y 1.0 metro dependiendo del área de la laguna.

Un sistema lagunar en fase de llenado, conformado por dos lagunas de estabilización en serie, se muestra en la Foto 2.1 indicándose en ella: las rejillas y desarenador (1), la caja de distribución (2), la estructura de entrada a la primera laguna (3), el centro de la laguna (4), taludes recubiertos de concreto (5), cunetas (6), salida de la primera laguna

(7), segunda laguna (8), salida de la segunda laguna (9) y las compuertas de vaciado (10) (Escalante *et al.*, 2000).

De acuerdo con el propósito del tratamiento de las aguas residuales, las lagunas de estabilización se pueden clasificar en: lagunas anaerobias (remoción de sólidos y materia orgánica), lagunas facultativas (remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos) y lagunas de maduración (remoción de patógenos).



Foto 2.1 Lagunas de estabilización

Las lagunas anaerobias son estanques profundos (2 – 5 m), en los que se lleva a cabo la sedimentación de sólidos y la degradación de la materia orgánica. En este tipo de lagunas se pueden observar la presencia de algunas natas en su superficie, la generación de burbujas (formación del biogás), la coloración del agua gris oscura y con frecuencia es evidente el olor a huevo podrido, típico del sulfuro de hidrógeno que se emite a la atmósfera, (Foto 2.2). Las variables que se deben controlar en este proceso son pH, temperatura y carga orgánica. El efluente de una laguna anaerobia puede presentar una coloración que puede variar entre amarillo a café oscuro y gris oscuro.

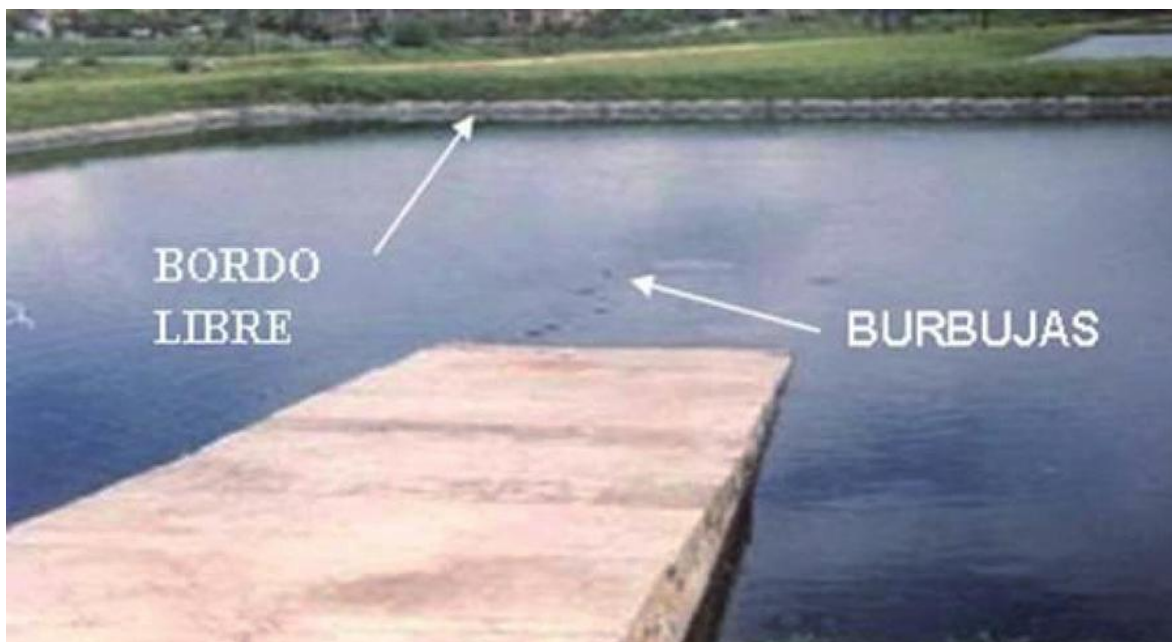


Foto 2.2 Laguna anaerobia, coloración gris del agua  
(Escalante *et al.*, 2000)

En algunas ocasiones las lagunas anaerobias, que inician su operación y/o reciben cargas orgánicas reducidas, no llegan a establecer condiciones anaerobias y pueden presentar una coloración rosada. Otro indicador a observar en ellas es el grado de azolvamiento (acumulación de lodos, Foto 2.3), principalmente por ausencia de mantenimiento.



Foto 2.3 Laguna de estabilización (anaerobia)  
(Escalante *et al.*, 2000)



Una desventaja en éstas lagunas es el olor que puede generarse en el caso de recibir una carga orgánica, mayor a la de diseño y también si el influente presenta una concentración de sulfatos mayor a 500 mg/L (CNA-IMTA, 1994). Posterior a esta laguna usted puede encontrar una laguna facultativa.

Las lagunas facultativas se diseñan para tirantes entre 1.5 y 2 metros. En ellas el proceso de degradación se lleva a cabo en tres fases, en el fondo de la laguna existen condiciones anaerobias que generan biogás y que producen un ligero mezclado. La fase intermedia llamada facultativa la llevan a cabo microorganismos facultativos y presentan la etapa de transición entre las condiciones anaerobias y aerobias. En su superficie se lleva a cabo la fase aeróbica, la producción de oxígeno se realiza por medio de las algas que utilizan como fuente de energía la luz solar en el estanque, proveyéndole al agua una coloración verde oscuro brillante (alta concentración de OD y pH) y la ausencia de malos olores. Algunas lagunas de estabilización presentan construcción de mamparas, como se muestra en la Foto 2.4 con el objeto de incrementar la eficiencia del proceso, dando un comportamiento de flujo pistón al fluido. La medición de la profundidad de lodos, consiste en introducir en forma vertical una varilla cubierta con una toalla blanca en la laguna (Foto 2.5) (Escalante *et al.*, 2000)



Foto 2.4 Laguna de estabilización con mamparas





Foto 2.5 Medición de tirante y profundidad de lodos en una laguna facultativa

Las lagunas de maduración (aerobias), son menos profundas que las anteriores (1 a 1.5 m) y en ellas deben predominar las condiciones aerobias, la concentración de oxígeno disuelto es superior a la de una facultativa, su objetivo es la remoción de microorganismos patógenos, ya que la disminución de carga orgánica es despreciable en ellas. El agua de las lagunas de maduración presenta una coloración verde y esta libre de olor (Foto 2.6). En la Foto 2.7 se presenta una estructura de salida. Generalmente las lagunas de maduración se encuentran después de una laguna facultativa (Escalante et al., 2000).



Foto 2.6 Laguna de maduración



Foto 2.7 Estructura de salida

Las lagunas de estabilización en función del lugar que ocupan, se pueden agrupar en primarias o de aguas residuales crudas, y secundarias si reciben efluentes de otros procesos. En la figura 2.3 se muestra un esquema de la profundidad que estas pueden tener.

En relación con la secuencia de sus unidades pueden clasificarse en lagunas en serie o en paralelo, pudiendo existir combinaciones de varios tipos. Los arreglos de un sistema lagunar pueden comprender una única laguna facultativa (Figura 2.4); lagunas en serie que incluyen: anaerobia, facultativa y maduración (Figura 2.5). Además es deseable construir series del mismo tipo para permitir una operación en paralelo (Figura 2.6).

Las lagunas anaerobias pueden ser diseñadas para operar individualmente o en paralelo, (Figura 2.7). Otro posible arreglo se presenta en la Figura 2.8

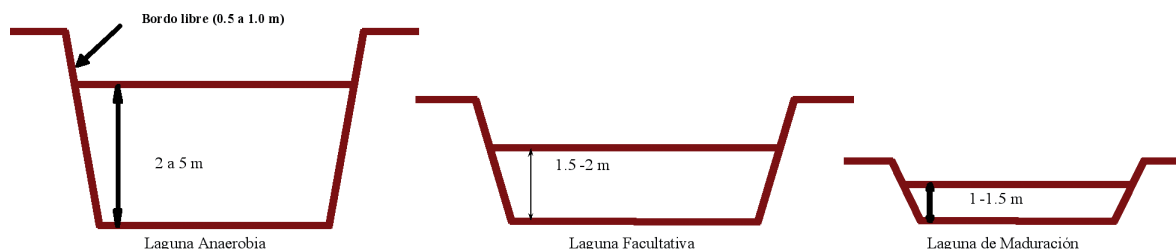


Figura 2.3 Esquema de la profundidad de las lagunas de estabilización

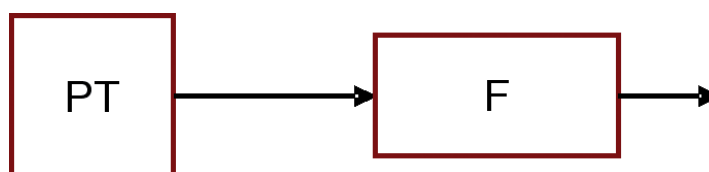


Figura 2.4 Lagunas facultativas

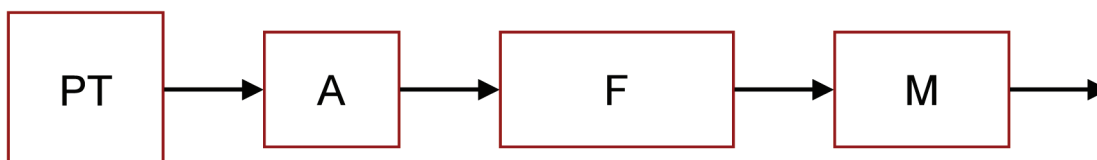
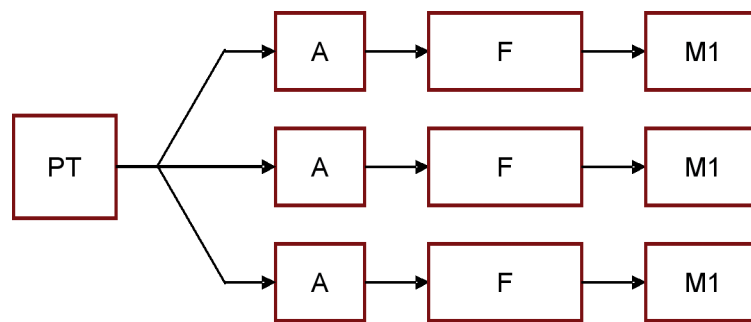


Figura 2.5 Lagunas en serie, anaerobia (A), facultativa (F), maduración (M)



Nota: PT = Pretratamiento

Figura 2.6 Sistema lagunares en paralelo

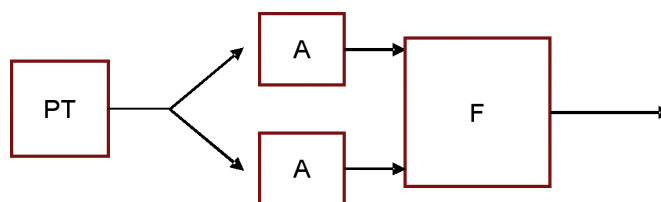


Figura 2.7 Lagunas anaerobias (A) en paralelo previas a una laguna facultativa (F)



Figura 2.8 Sistema lagunar constituido por laguna anaerobia, facultativa y dos de maduración

Los parámetros de control que principalmente se deben determinar en lagunas de estabilización se indican en la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Parámetros de control en lagunas de estabilización (Rango normal)

Parámetro	Anaerobia	Facultativa	Maduración
Color	Café	Verde oscuro	Verde oscuro
Olor	Sí	No	No
pH	6.5 – 7.5	8 –9	8 -9
Temperatura del agua	20-25° C	20-25° C	20-25° C
Temperatura del ambiente	18 - 35° C	18-35° C	18-35° C
Oxígeno disuelto	0	> 6 mg/L	6 - 35 mg/L

## **b) Indicadores del funcionamiento**

### ***Anaerobia***

Se considera un buen funcionamiento de una laguna anaerobia, si en el estanque se observa generación de biogás y el efluente de esta presenta una coloración gris.

Una laguna anaerobia no funciona en forma adecuada cuando recibe una carga orgánica insuficiente, observándose una coloración del agua roja o rosada (presencia de bacterias fotosintéticas). Lo anterior se debe a un error de diseño o a que recibe un caudal menor para la que fue proyectada. Por otra parte un indicador de que la laguna anaerobia se encuentra sobrecargada es un fuerte olor a huevo podrido.

### ***Facultativa***

El efluente de una laguna facultativa deberá presentar una coloración verde oscuro brillante y no se deberá detectar olor, en este caso se considera un buen funcionamiento. Sí el efluente de ésta laguna presenta una coloración verde opaco o amarillo, se considera un funcionamiento regular, con disminución de pH y O.D. (predominio de algas azul-verdosas). Si esta laguna presenta mal olor y coloración gris a negro se considera un mal funcionamiento.

### ***Maduración***

El efluente de una laguna de maduración deberá presentar una coloración verde, un pH alcalino (mayor a 8) y no se deberá detectar olor.

La presencia de insectos o larvas de insectos en la laguna, indica un mantenimiento pobre y una mala circulación.

## **2.3.1.2 LAGUNAS AERADAS**

### **a) Descripción del proceso**

Una laguna aerada es una laguna a la cual se le han instalado aeradores mecánicos o difusores de aire que mediante burbujeo proporcionan la cantidad de oxígeno suficiente con el objeto de favorecer el crecimiento y reproducción de bacterias aerobias que llevan a cabo el proceso de depuración del agua.

El proceso se asemeja al de lodos activados con un tanque de aeración sin recirculación de lodos. Una fotografía de una laguna aerada se presenta en la Foto 2.8



Foto 2.8 Laguna aerada

Con frecuencia las lagunas aeradas están precedidas de cribado, desarenado y en ocasiones por sedimentador primario o laguna anaerobia, posteriormente a una laguna aerada puede presentarse una laguna de sedimentación que por su apariencia y funcionamiento parece una laguna facultativa.

En algunas ocasiones este tipo de plantas de tratamiento carecen de desarenador y/o sedimentador primario.

Una laguna aerada puede ser clasificada como una laguna completa o parcialmente mezclada de acuerdo a la cantidad de oxígeno disuelto que posee y el grado de mezclado.

En las lagunas completamente mezcladas, el oxígeno suministrado es suficiente para mantener una misma concentración a lo largo de todo el tirante de la laguna y el grado de mezclado sostiene los sólidos biológicos en suspensión. Un diagrama de una laguna aerada completamente mezclada se presenta en la Figura 2.9.

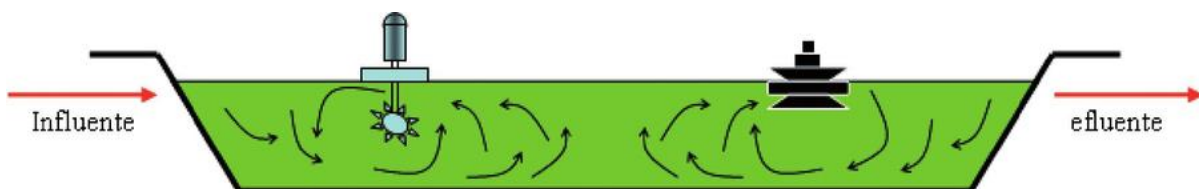


Figura 2.9 Laguna aerada completamente mezclada

Si la laguna aerada corresponde a una laguna parcialmente mezclada, la zona oxigenada se localiza en la parte superior del tirante y el grado de mezclado es insuficiente para mantener todos los sólidos biológicos en suspensión. Un diagrama de una laguna aerada parcialmente mezclada se presenta en la Figura 2.10.

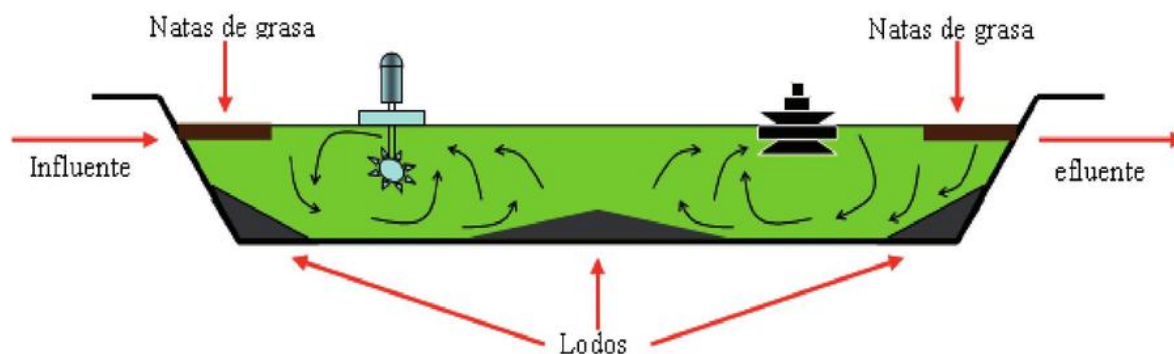


Figura 2.10 Laguna aerada parcialmente mezclada

Las lagunas aeradas se emplean en el tratamiento de las aguas de desechos tanto industriales como municipales para degradar biológicamente la materia orgánica debido a que ocupan una superficie menor que una laguna de estabilización y presentan costos de construcción, operación y mantenimiento menores que un proceso de lodos activados. Sin embargo requieren de una superficie de terreno apreciablemente mayor que dicho proceso.

Las lagunas aeradas, al igual que las lagunas de estabilización, se forman por excavación en tierra, con formación de bordos producto de la excavación o con material de banco. Usualmente se construyen de una forma rectangular, excepto cuando por causas topográficas es posible aprovechar depresiones del terreno para ahorrar excavaciones y formación de bordos.

De esta forma se tiene un estanque de 3 a 4 m de profundidad, donde el agua posee un tiempo de retención de 1 a 6 días, período durante el cual se oxigena el agua (Foto 2.9).

#### **b) Variaciones al sistema de aeración**

En las lagunas aeradas; la aeración se realiza por medio de aeradores de “succión”, los cuales arrojan el agua superficialmente formando un hongo o bien mediante aeradores de tubo llamados tipo “cañón”.

En el sistema de aeración por difusión, el aire se suministra por medio de sopladores que lo conducen a través de tuberías hasta los difusores que se encuentran en el fondo de la laguna y permiten su salida mediante un burbujeo. En el mercado existen diferentes



modelos de difusores de muy diversos precios y materiales que proporcionan desde burbujas finas emitidas a través de cuerpos porosos (platillos, boquillas, etc.), hasta burbujas grandes donde el aire se inyecta directamente por medio de tubos perforados.



Foto 2.9 Sistema lagunar que presenta lagunas aeradas

Un esquema de aerador de “succión” se presenta en la Foto 2.10 y uno tipo “cañón” en la Foto 2.11.



Foto 2.10 Aerador de “succión”



Foto 2.11 Aerador de tubo tipo “cañón”

### 2.3.1.3 LODOS ACTIVADOS

El proceso de lodos activados es una forma de tratamiento donde el agua residual y el lodo biológico o activado, formado por una población heterogénea de microorganismos, son mezclados y aerados en un tanque o reactor; para posteriormente ser separados mediante sedimentación y recircularlos dentro del sistema (Foto 2.12). En el capítulo correspondiente a Lodos Activados se detallará este proceso.



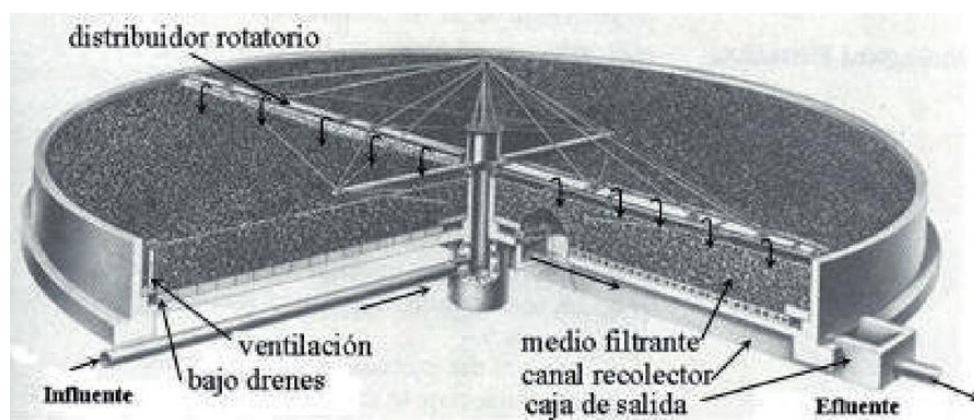
Foto 2.12 Planta de lodos activados

### 2.3.1.4 FILTROS PERCOLADORES

#### a) Descripción del proceso

El sistema de filtro percolador o rociador consiste en un tanque de forma circular (Figura 2.11), conteniendo un lecho filtrante formado por un relleno de grava, carbón, pedacería de ladrillo, piedra triturada (6-9 cm de diámetro) o módulos de plástico de tipo laminar. La profundidad de los lechos puede tener de 1.5 a 2.5 m para empaques o rellenos de piedra y de 3 a 7 m para empaques plásticos de diversas formas. Un distintivo e importante elemento es el sistema de distribución del agua residual, siendo muy común el tipo rotatorio que se monta sobre un muelle o brazo central a la mitad del filtro.

En la Figura 2.11 se muestra el corte transversal de un filtro percolador evidenciando la entrada del influente que se bombea hasta el sistema de distribución filtrándose a través del relleno (grava o piedra) y posteriormente se recolecta esta agua ya tratada (agua residual más limpia) a través de conductos de drenaje en el fondo del filtro por donde sale ya el efluente a un sedimentador secundario.



FUENTE: Reynolds, 1982

Figura 2.11 Filtro percolador con un distribuidor rociador

En la Foto 2.13 se muestra el relleno (grava) de un filtro percolador así como el muelle giratorio por el cual se distribuye el agua residual (note el chorro de agua que sale de los orificios del tubo distribuidor). El impulso del chorro de agua se aprovecha para hacer girar el muelle.

El relleno de los filtros percoladores funciona como soporte sobre el que crecen bacterias. Conforme el agua residual pasa a través del lecho, las bacterias se nutren del material orgánico y de oxígeno disuelto. Como consecuencia del aumento poblacional de las bacterias se forma una especie de costra (biopelícula) sobre la superficie del empaque, presentando un aspecto gelatinoso, espesor uniforme y estratificado que con frecuencia es de color gris a gris café, que se oscurece en algunos casos.





Foto 2.13 Material de relleno (grava) de un filtro percolador

La capa superficial de los microorganismos o bacterias consume rápidamente el oxígeno, por lo que frecuentemente se encuentran zonas anaerobias en el interior de la biopelícula. Cuando se desprende la biopelícula, esta es arrastrada por el agua tratada hasta el fondo del filtro llegando finalmente hasta el sedimentador secundario, donde los sólidos son separados mientras que el agua tratada se retira en la superficie a través de los vertederos.

En el diagrama de flujo (Figura 2.12) se muestra el tren de tratamiento del agua residual que inicia con el pretratamiento (PT), seguido de un sedimentador primario (SP), filtro percolador (FP) y finalmente un sedimentador secundario (SS) que tiene como función eliminar a los microorganismos acumulados y que periódicamente se desprenden del filtro, recirculando un 10% de éstos hacia el sedimentador primario. En este último sedimentan tanto los sólidos de la biopelícula como los del agua cruda.

#### b) Variantes

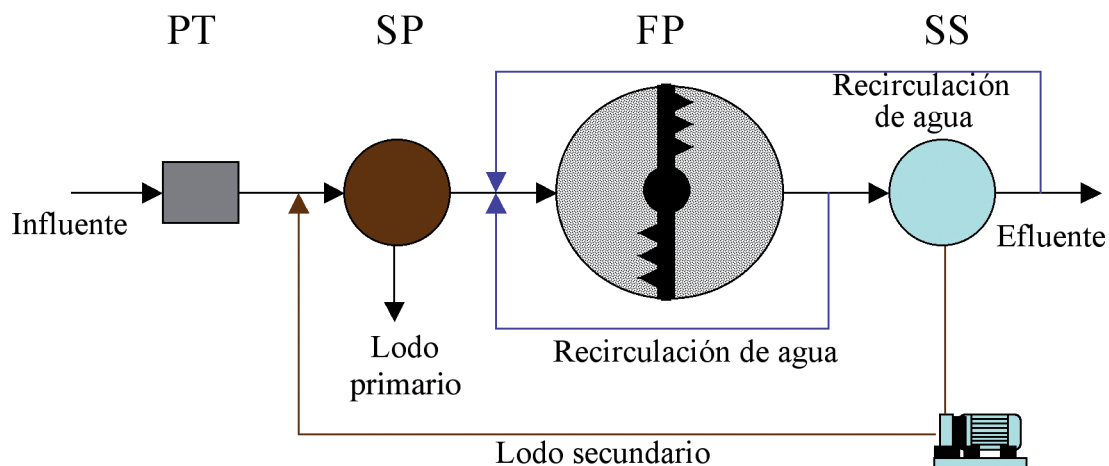


Figura 2.12 Tren de tratamiento que incluye un filtro percolador

Otro posible esquema de trabajo consiste en que el filtro percolador se opere en dos etapas (intervienen dos filtros percoladores operados en serie). Nótese también los arreglos de recirculación entre ambos filtros (Figura 2.13).

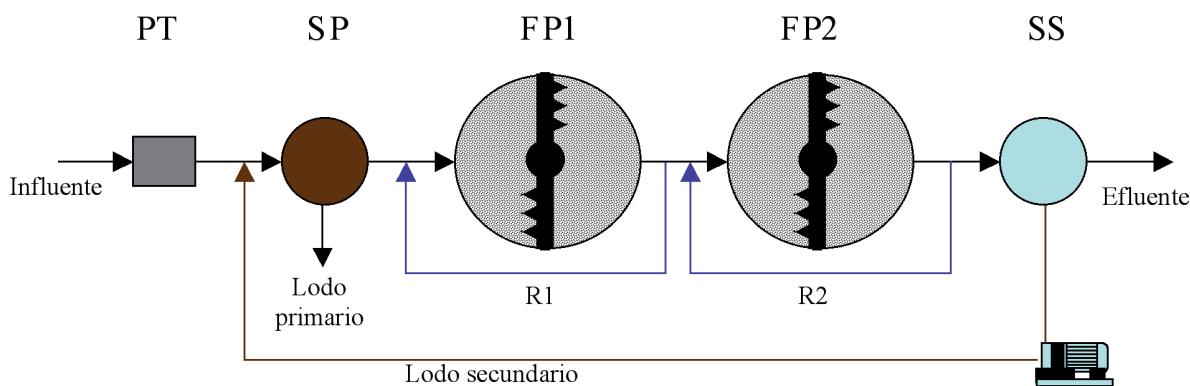


Figura 2.13 Diagrama de flujo de un sistema percolador operado en 2 etapas con recirculación

El material de construcción de los tanques de los filtros percoladores suele ser de concreto reforzado y de un diámetro muy variable entre 3 a 40 m. No se debe confundir un filtro percolador con un sedimentador, ya que ambos son circulares y tienen un brazo diametral giratorio. La gran diferencia entre ellos es que un filtro percolador tiene un brazo giratorio que rocía agua residual, el sedimentador no; el filtro rociador está relleno de grava o piedras o incluso material plástico bien visibles a un espectador, mientras que un sedimentador no tiene material de relleno y un observador sólo vería un estanque de agua residual.

#### 2.3.1.5 SISTEMA DE DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS (BIODISCOS)

Una unidad o etapa consiste en una serie de discos montados en un eje central horizontal rotatorio, e instalados en un tanque de concreto. En Figura 2.14 y Foto 2.14 se puede observar los componentes principales de una unidad de biodiscos (el rotor, el eje o flecha y los discos) (Escalante *et al.*, 2000).

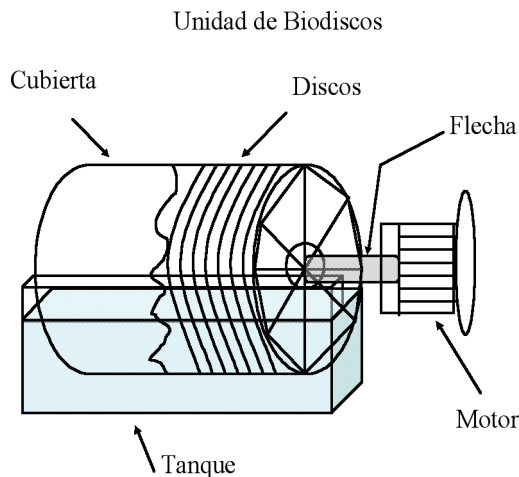


Figura 2.14 Componentes



Foto 2.14 Unidades de Biodiscos en operación

La flecha y discos se hacen girar por medio de un mecanismo motriz acoplado a la flecha, entre 1 y 2 r.p.m. El 40% de la superficie de los discos debe mantenerse dentro del agua residual.

Inicialmente los discos se construyeron a base de madera, pero por su baja eficiencia se buscaron nuevos materiales. Actualmente los materiales de construcción son polietileno y poliestireno. La superficie de los biodiscos puede ser lisa o corrugada, siendo más eficiente esta última. Los biodiscos al unirse, forman una estructura rígida, con un espaciamiento entre capa y capa de 3.2 cm, formando unos canales radiales desde el centro del biodisco hacia la periferia, de esta forma se asegura que el agua residual, el aire y la biomasa que se desprende, pasen libremente dentro y fuera del medio (Figura 2.15). En la Tabla 2.3 se detallan las dimensiones y materiales más comunes en la construcción de los biodiscos.

Tabla 2.3 Dimensiones de los biodiscos

Especificación	Biodiscos lisos	Biodiscos con canaletas
Diámetro (m)	2-3	3.6
Espesor (cm)	0.13-1.3	-
Separación entre los Biodiscos (cm)	3.4	3.2
Materiales utilizados	Poliestireno,	Polietileno
Densidad superficial ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )	121.4	122.7
Tamaño de población (habitantes)	10,000	-

FUENTE: Guerra Álvarez, 1982.



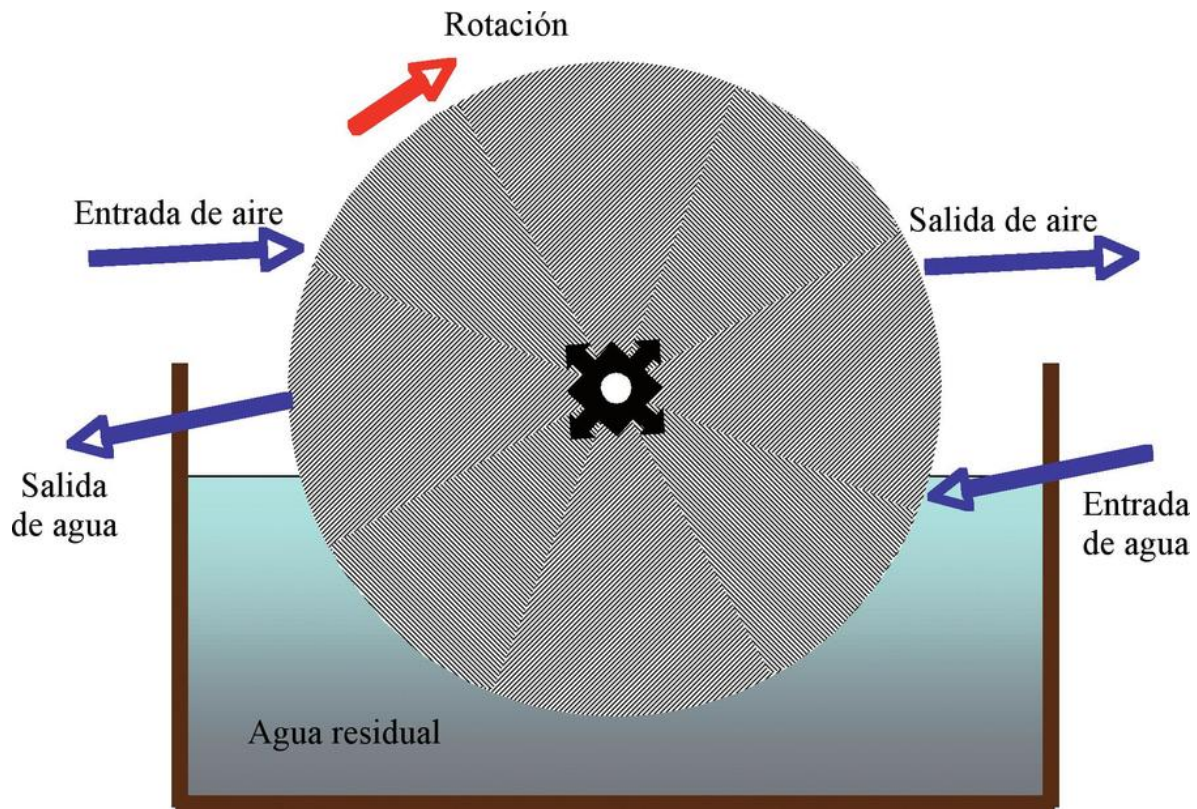


Figura 2.15 Biodisco con canaletas

Los biodiscos se sumergen en el agua residual justo por debajo del nivel del eje, en un tanque con un fondo de forma cilíndrica, cuyo tamaño es ligeramente mayor que el de los biodiscos. La forma cilíndrica del tanque no es obvia para un observador, ya que la forma externa del tanque es de apariencia rectangular como se puede observar en la Foto 2.15

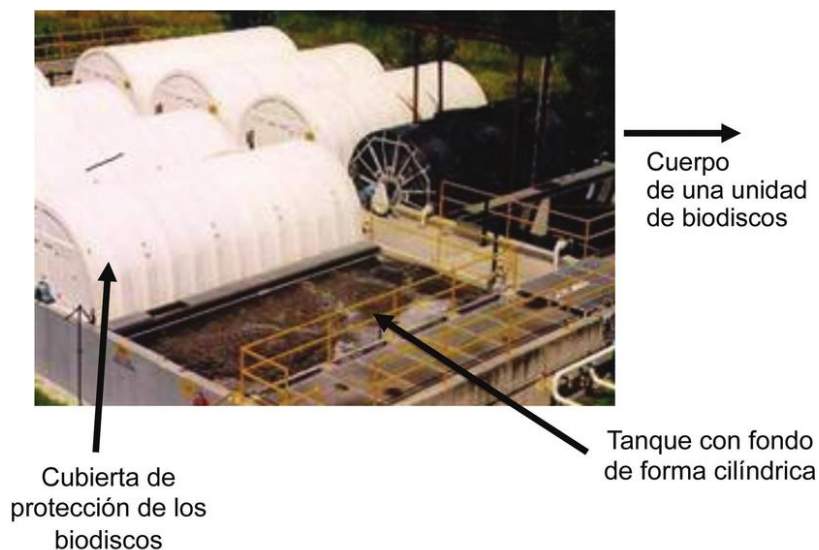


Foto 2.15 Unidad de Biodiscos

Los biodiscos deben estar cubiertos para su protección de los rayos solares, evaporaciones y bajas temperaturas. En la Foto 2.16 se observa que los biodiscos se encuentran cubiertos por láminas formando un semicilindro. En este ejemplo en concreto una de las unidades se ha descubierto para realizar su limpieza. También es posible ver los sedimentadores secundarios del tren de tratamiento.



Foto 2.16 Sistema de Biodiscos de 5 etapas

Sobre cada biodisco crece una gran cantidad de organismos microscópicos (zooglea), pero su conjunto forma una capa visible entre 4 mm hasta varios centímetros. La apariencia de la capa es áspera con muchos filamentos (especie de hilos sobresalientes). La capa adherida al disco se alimenta del oxígeno disuelto y de la materia orgánica contenida en el agua residual. El movimiento rotatorio provoca que la biomasa en exceso se desprenda y quede en el seno del licor de mezclado (lodo + agua residual tratada). El lodo que se va desprendiendo de los biodiscos se elimina mediante sedimentadores intermedios.

Varias unidades o etapas de biodiscos pueden estar operando en paralelo o en serie como se observa en la Foto 2.16 y Figura 2.16, respectivamente. En el primer ejemplo la operación se realiza en 5 etapas en paralelo, mientras que en el segundo ejemplo las unidades de biodiscos tienen un arreglo en serie.

En la Figura 2.17 se muestra un sistema de tratamiento de aguas residuales de biodiscos. Es necesario pretratar el agua cruda para que pueda entrar a las etapas de los biodiscos. Posteriormente el licor mezclado que sale de los biodiscos es llevado hasta un sedimentador secundario donde los lodos se asientan en el fondo y el agua tratada se extrae por la superficie, colectándose en canales para su posterior desinfección.

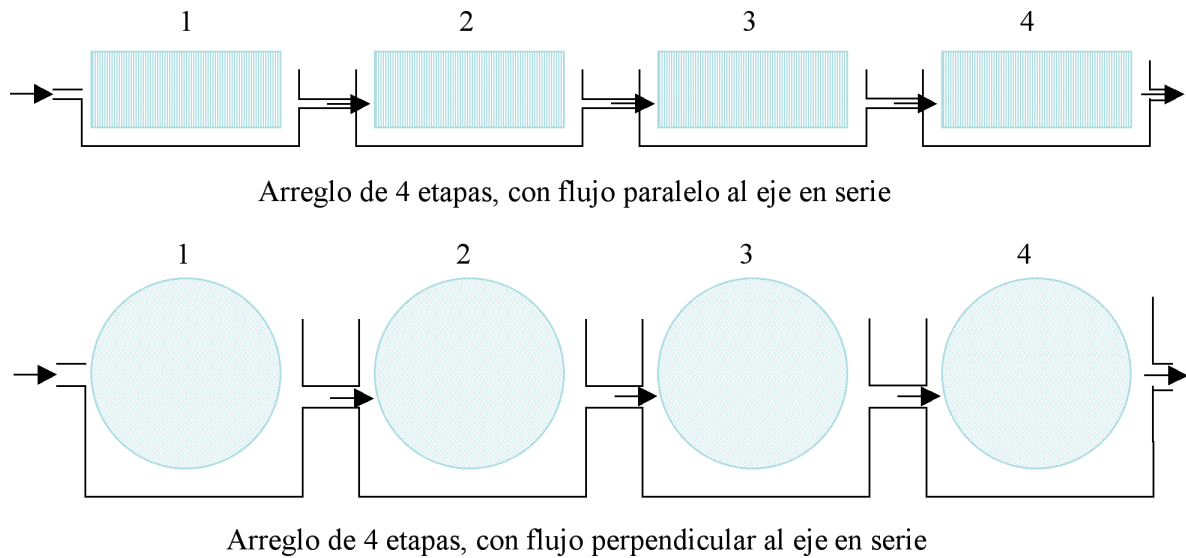


Figura 2.16 Sistema de biodiscos de 4 etapas, sin cubierta externa

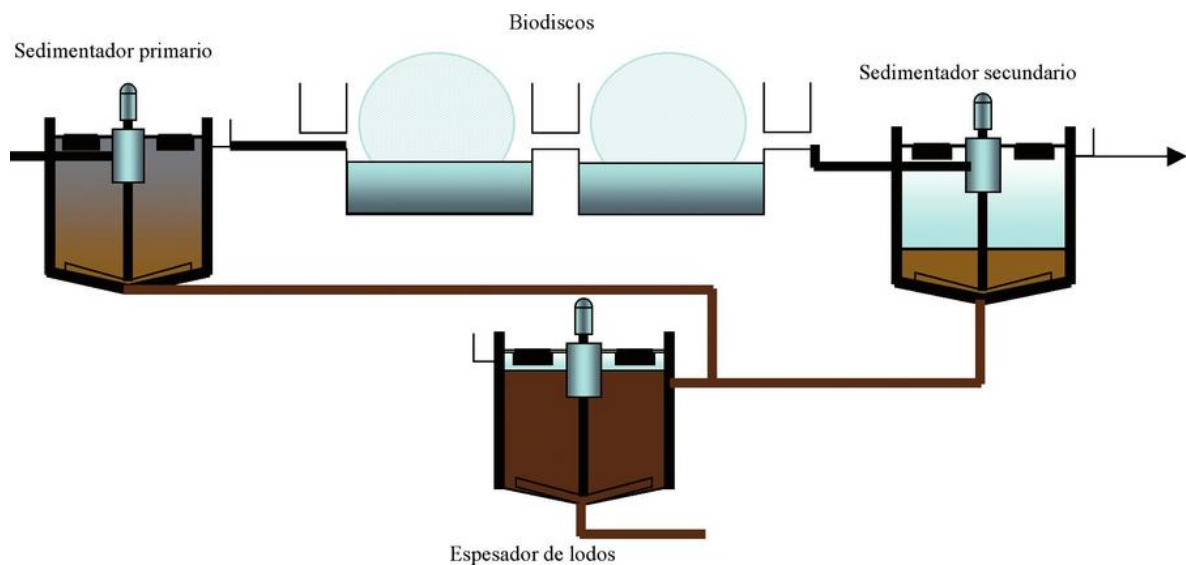


Figura 2.17 Sistema de discos biológicos en el tratamiento de aguas residuales

### 2.3.2 SISTEMAS ANAEROBIOS

Para llevar a cabo la digestión anaerobia se han propuesto varios procesos con configuraciones diferentes que buscan optimizar el sistema. Estas configuraciones pueden agruparse por la forma en que se encuentra la biomasa en su interior, lo que origina dos grandes bloques: reactores con crecimiento celular en suspensión y reactores con biomasa fija. A continuación se describen brevemente los reactores anaerobios existentes.

Se clasifican en tres generaciones (Figura 2.18), de acuerdo a la evolución tecnológica que presenten, la primera corresponde aquellos procesos donde la biomasa se encuentra en suspensión; en la segunda generación, los microorganismos son retenidos en el reactor mediante un soporte o bien por sedimentación y; los de la tercera generación, donde los microorganismos están adheridos en un soporte que se expande o fluidifica.

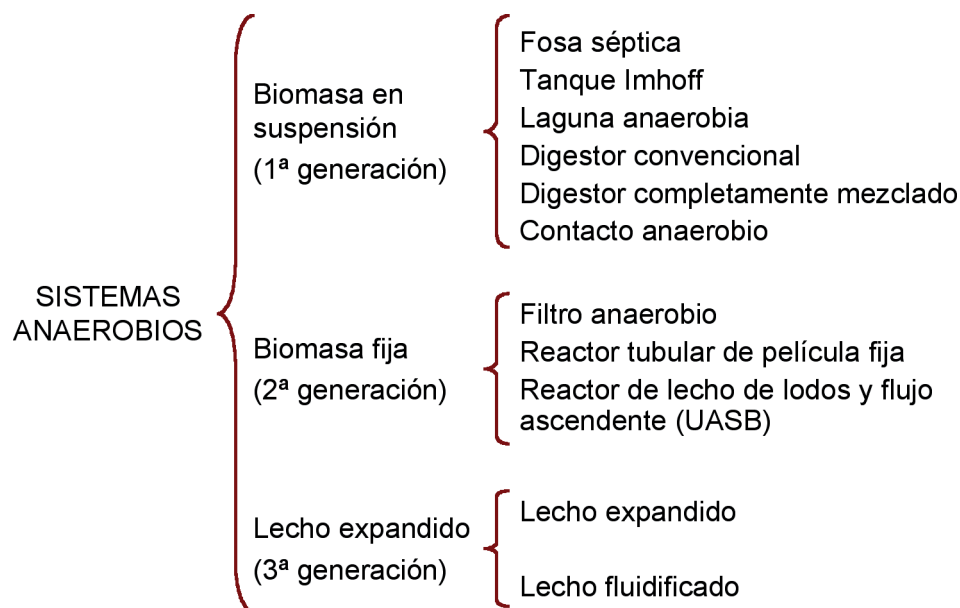


Figura 2.18 Generaciones de los reactores anaerobios

#### 2.3.2.1 FOSA SÉPTICA

##### a) Descripción del proceso

Consisten básicamente de un tanque construido comúnmente con ladrillos, mortero y cemento, aplanados en su interior y con una profundidad entre uno y dos metros (Foto 2.17). Algunas veces tienen una trampa para separar las grasas. Su construcción generalmente es subterránea, como se muestra en la Foto 2.18 en la que únicamente se observan sus tapas (Escalante *et al.*, 2000).

Las fosas o tanques sépticos son unidades que restablecen en parte la calidad del agua generada en las actividades domésticas de viviendas individuales o pequeños grupos de viviendas (de 10 a 100 habitantes) en zonas donde no hay drenaje.

Su ubicación debe de encontrarse lo más lejos posible de la zona habitada (hasta 100 m) para evitar los malos olores producidos durante el tratamiento.



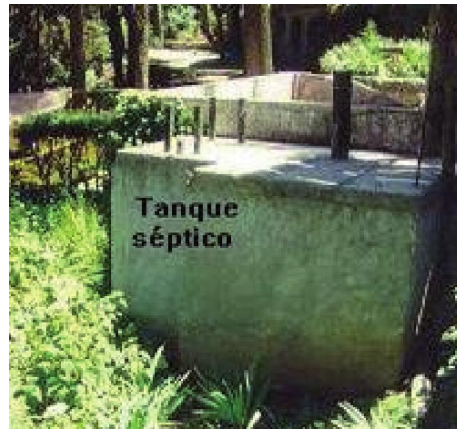


Foto 2.17 Fosa o tanque séptico externo



Foto 2.18 Fosas o tanques sépticos subterráneos

Pueden ser de uno o más compartimientos. En la Figura 2.19 se observan los principales componentes de un tanque séptico de un compartimento y en Figura 2.20 uno de dos compartimientos. La remoción de DBO y SS en una fosa o tanque séptico de un compartimento es de 30 % y 60 %, respectivamente. Su tiempo de retención mínimo es de 12 horas y puede incrementarse hasta tres días, dependiendo de la calidad necesaria en el efluente y del número de compartimientos. La forma más común de estos sistemas es rectangular, aunque los hay de forma circular (Escalante *et al.*, 2000).

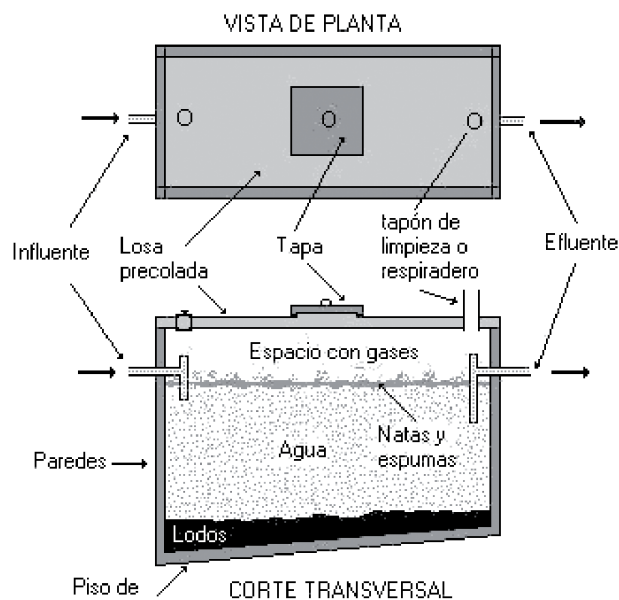


Figura 2.19 Fosa o tanque séptico de un compartimiento

En los tanques sépticos no se logra degradar la materia orgánica hasta su forma más simple, es decir hasta sus formas más sencillas. El efluente presenta concentraciones considerables de materia orgánica, por lo que es necesario complementar el tratamiento mediante un filtro de grava, un campo de infiltración o una cámara de oxidación, dependiendo del uso que se pretenda dar al agua tratada. Por lo tanto el tanque séptico funciona como un pretratamiento. Normalmente produce malos olores.

Sus componentes principales son: zona de espumas, zona de sedimentación y zona de lodos. Esta última se subdivide en a) zona de digestión de lodos y corresponde a los lodos de la parte superior, b) zona de almacenamiento correspondiente a los lodos del fondo.

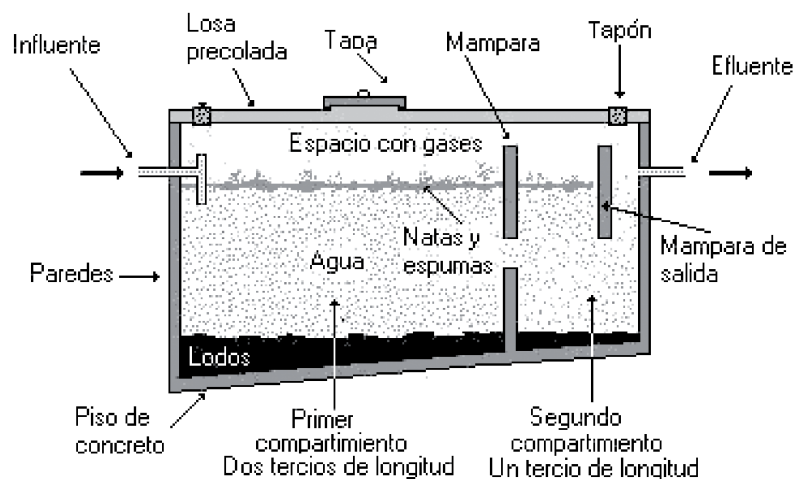


Figura 2.20 Fosa o tanque séptico de dos compartimientos



Los tubos de entrada y salida deben de tener destapada la parte superior para permitir el paso de los gases, especialmente en la salida, para evitar que formen parte del efluente. Estos tubos funcionan como mamparas ya que reducen los cortocircuitos y facilitan la hidráulica del agua en el tanque séptico. La parte superior de los tubos deben encontrarse a una distancia de 15 a 20 cm por encima de la superficie del agua, sobrepasando el nivel de la espuma. La parte inferior de los tubos deben estar sumergidos entre un 30 a un 40 % de la profundidad del líquido en el tanque.

## **b) Tratamiento del efluente del tanque séptico**

### **1.- Filtro de oxidación**

El tratamiento del efluente de un tanque séptico puede realizarse mediante un filtro de oxidación de flujo ascendente instalado junto al efluente del tanque séptico como se indica en la Figura 2.21. El filtro puede ser de grava o gravilla y construirse de 50 cm de profundidad.

El efluente de este filtro descarga por la parte superior y el agua llega por su base. Las bacterias se adhieren formando una capa en la superficie de la grava en donde se oxida la materia orgánica reduciéndola hasta en un 70%. También se reducen los malos olores y la turbiedad. El filtro debe lavarse cada dos años de funcionamiento para recuperar su capacidad de tratamiento.

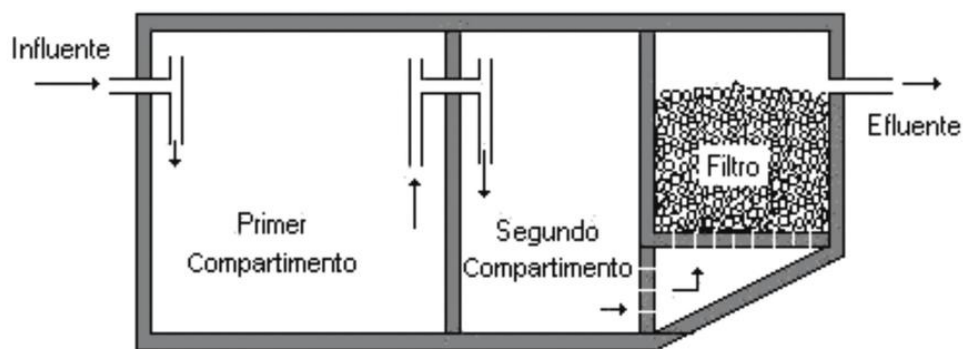


Figura 2.21 Tanque séptico de dos compartimientos y un filtro de flujo ascendente

### **2.- Campos de infiltración**

En este proceso se filtra y oxida el efluente del tanque séptico. Consiste de una red de tubos colocados por debajo de la superficie del suelo, el cual debe ser permeable. En el lecho se desarrollan microorganismos (bacterias, protozoarios) y otros seres como las algas y anélidos, que de manera conjunta eliminan la materia orgánica (entre 80 y 90 %) y microorganismos patógenos.

En la Figura 2.22 se muestra la distribución de los tubos para un campo de infiltración en suelos permeables.

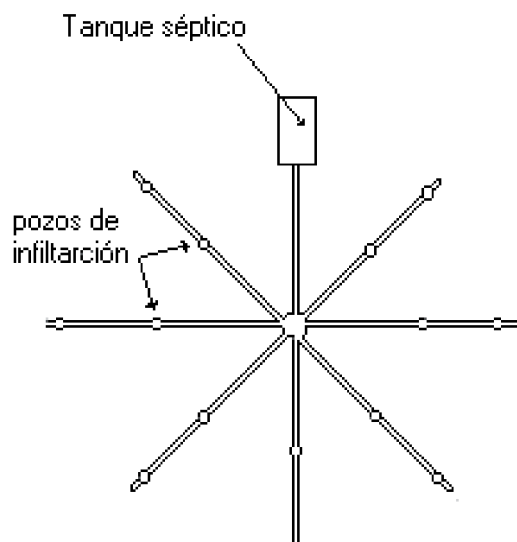


Figura 2.22 Distribución de tubos de infiltración

En la Figura 2.23 se muestra un corte transversal del campo de infiltración en suelos poco permeables, que consiste de un lecho de rocas de diferente diámetro y varían de 0.5 a 1.5 m de profundidad. Estos campos de infiltración no deben de construirse en zonas donde el manto acuífero se encuentra a una profundidad menor a 1.5 m de la superficie del terreno.

El campo de infiltración no debe construirse sobre pendientes muy pronunciadas, ya que estas reducen la posibilidad de infiltración. El suelo impermeable no es apto para este proceso.

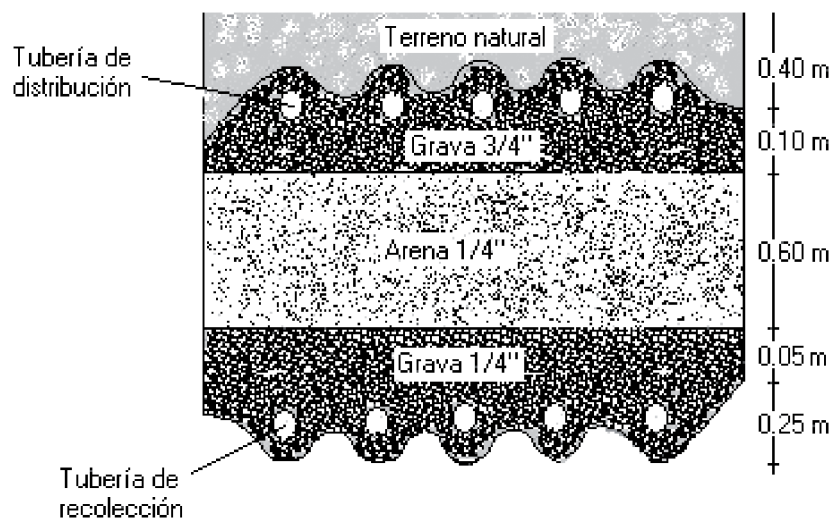


Figura 2.23 Corte transversal de un campo de infiltración

### 3.- Cámara de oxidación

Consiste de un tanque con tapa, construido en mampostería y concreto como se muestra en la Figura 2.24 aunque el lecho de grava y piedra puede ser sustituido únicamente por piedra. El tubo puede ser de barro vitrificado, concreto o de PVC, contener perforaciones y ubicarse uno en la parte superior (influyente) y otro en el fondo (efluente) con las pendientes que se indican en la Figura 2.24. El efluente del tanque séptico pasa por todas las superficies de roca, en donde los microorganismos oxidan la materia orgánica.

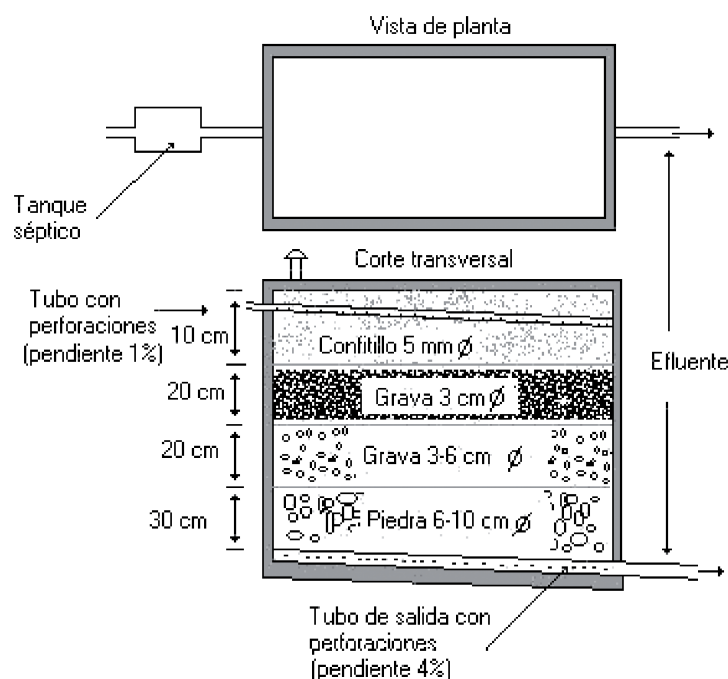


Figura 2.24 Cámara de oxidación

### 4.- Pozo de absorción

Sirven para continuar el tratamiento del efluente de un tanque séptico por medio de infiltración en el suelo. Es alto el riesgo de contaminar el agua subterránea con el agua tratada con este método, especialmente en suelos muy permeables, por lo que no debe encontrarse de manera somera el manto freático, ni ubicarse cercano a un pozo de extracción de agua para suministro potable.

Pueden construirse varios pozos de absorción cuando sea grande el caudal proveniente del tanque séptico (por ejemplo un pozo para cada 10 personas). En la Figura 2.25 se observan los componentes de un pozo de absorción.

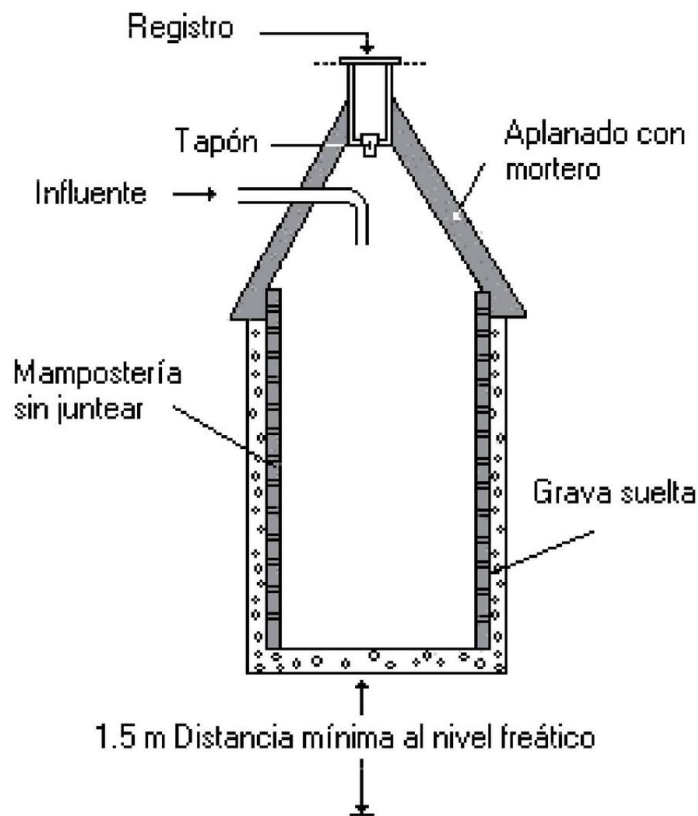


Figura 2.25 Componentes de un pozo de absorción

#### 2.3.2.2 TANQUE IMHOFF

En el tanque Imhoff se realiza la eliminación de sólidos sedimentables y su digestión anaerobia es de manera similar a un tanque séptico, aunque con un tanque Imhoff se pueden tratar caudales mayores (para comunidades entre 500 y 5,000 habitantes) y en su interior se presentan por separado la sedimentación y la digestión de lodos, en compartimientos diferentes. Se construyen con concreto. Son de forma cuadrada o rectangular. Normalmente están abiertos en su superficie, por lo que se puede ver el agua. La relación largo/ancho varía de 3:1 a 5:1. Su profundidad común varía entre 1.5 y 4 m, aunque si la excavación lo permite pueden construirse hasta de 7 m de altura.

Están constituidos de cuatro zonas: entrada, compartimiento de sedimentación, cámara de digestión y salida. El agua residual después del tubo de entrada es forzada a fluir hacia abajo, es decir hacia la zona de sedimentación mediante un deflector o mampara (Figura 2.26a). En el compartimiento de sedimentación, el agua residual permanece entre dos a cuatro horas y los sólidos del agua residual caen hacia el fondo por escurrimiento a través de una abertura longitudinal hacia la cámara de digestión, donde los lodos formados se descomponen o digieren en un periodo de dos a tres meses, produciendo diversos gases

como metano, ácido sulfhídrico, bióxido de carbono, etc. El almacenamiento de estos lodos varía entre cuatro y seis meses, después de este periodo el lodo debe presentar un color negro oscuro y no debe generar mal olor.

La abertura mencionada en el párrafo anterior, está formada por una mampara, la que evita el ascenso de los gases formados durante la digestión, hacia el comportamiento de sedimentación. Los gases escapan a la atmósfera por las ventilas ubicadas a los lados de la zona de sedimentación (Figura 2.26 b y c). Finalmente el agua tratada pasa por debajo del deflector de la zona de salida para evitar el escape de las natas (Escalante *et al.*, 2000).

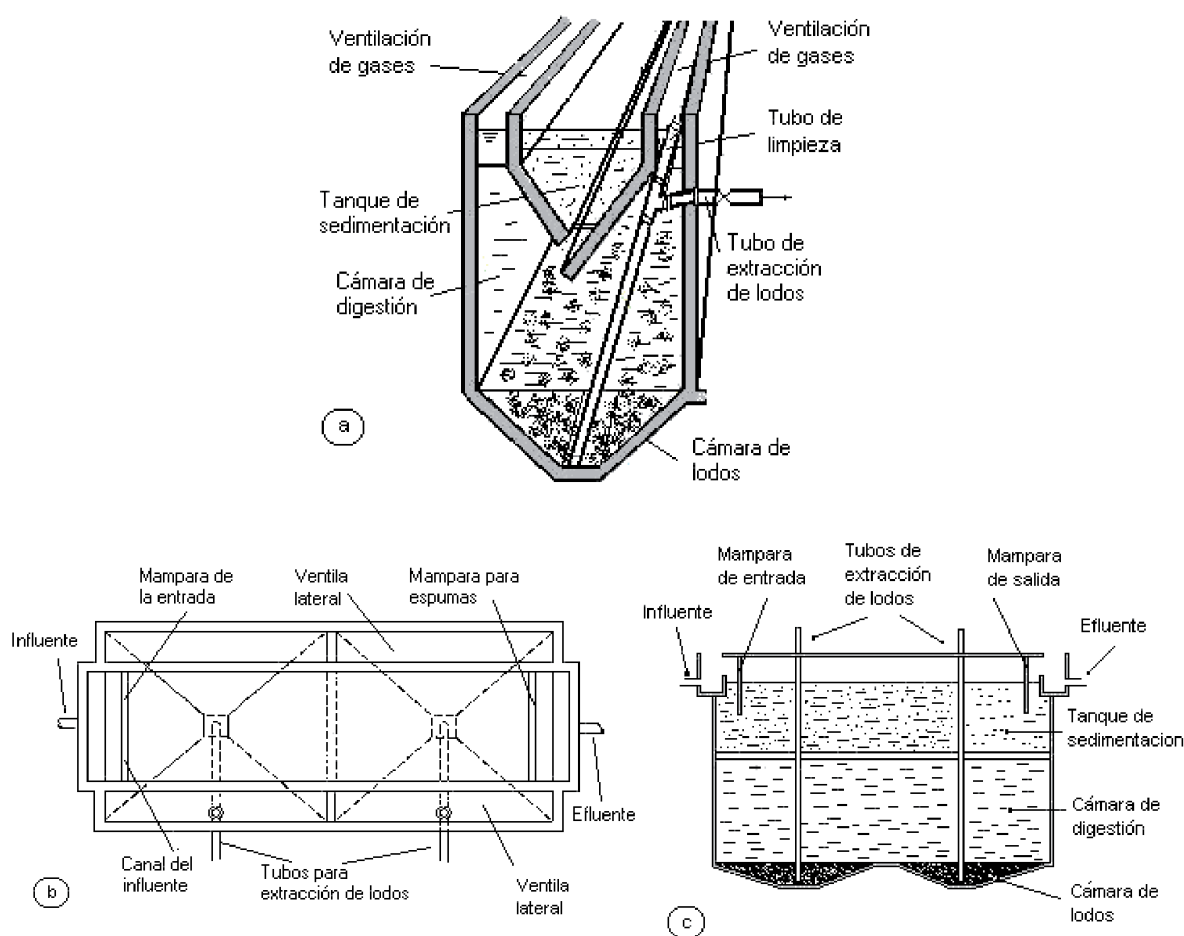


Figura 2.26 Tanque Imhoff con una cámara de sedimentación.  
a) Vista transversal, b) Vista en planta, c) Vista horizontal

En la Figura 2.27 se presenta un tanque Imhoff con doble cámara de sedimentación sobre una cámara de digestión.

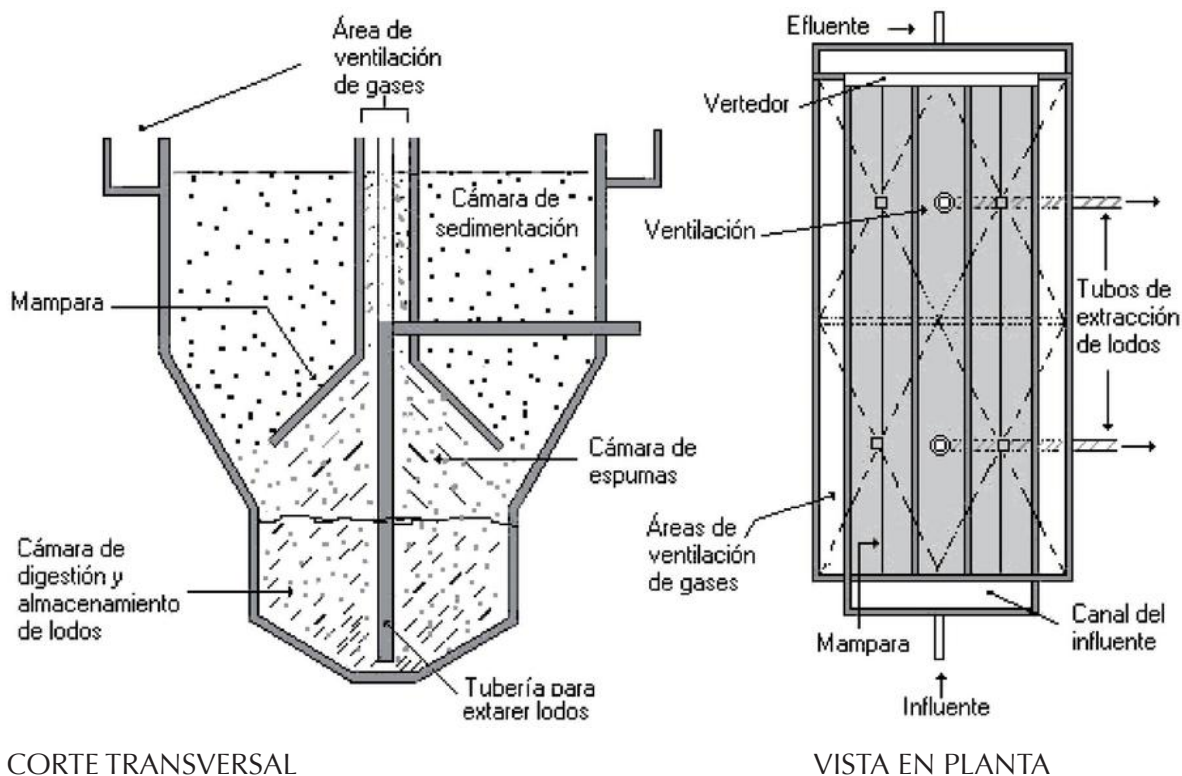
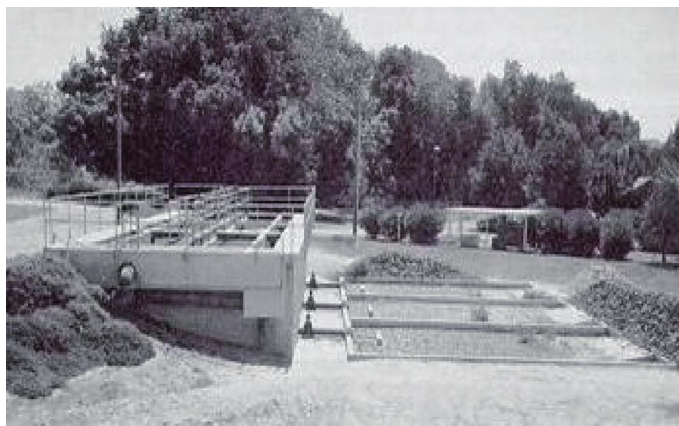


Figura 2.27 Componentes del tanque Imhoff con doble cámara de sedimentación

En la Foto 2.19 se muestra un tanque Imhoff el cual incluye los lechos de secado. En esta planta los lodos se extraen por la parte inferior del Tanque Imhoff y no a través de un tubo por la parte superior como sería el caso de los tanques de la Figura 2.26 y la Figura 2.27 (Escalante *et al.*, 2000).



FUENTE: Metcalf & Eddy. 2003.

Foto 2.19 Panorámica de un Tanque Imhoff y sus lechos de secado



### 2.3.2.3 REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)

#### a) Descripción del proceso

En el reactor anaerobio de flujo ascendente, el agua residual a tratar es conducida desde la parte superior del reactor (tanque) hacia el fondo del mismo por medio de tubos. El influente fluye en sentido ascendente a través de un manto de lodos (microorganismos anaerobios) llevándose a cabo de esta forma el tratamiento (Figura 2.28).

El biogás producido en condiciones anaerobias (principalmente metano y dióxido de carbono) genera una circulación interior (mezclado). El biogás, el lodo y el líquido tratado ascienden a la parte superior del reactor, en donde entran en contacto con deflectores que permiten la separación del biogás y la sedimentación del lodo. El biogás es capturado en la campana de recolección que se encuentran en la parte superior. El líquido tratado (efluente) sale por la parte superior. Detalles de éste proceso se indican en la Figura 2.28 (Escalante *et al.*, 2000).

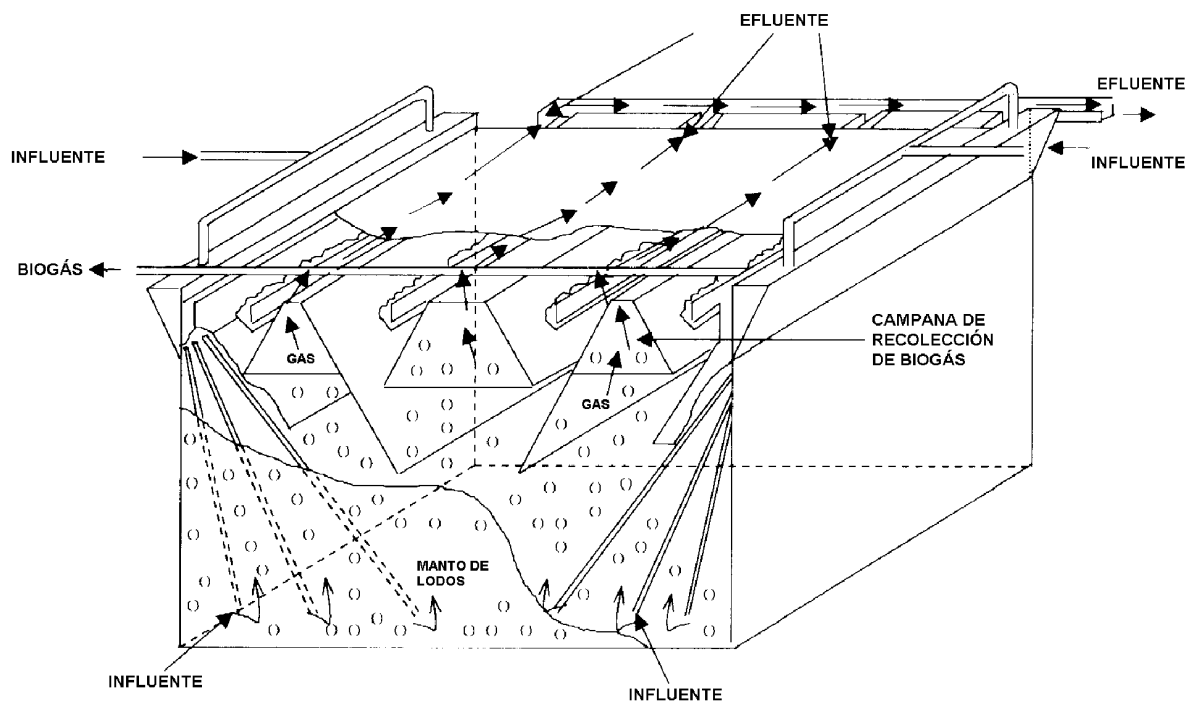


Figura 2.28 Reactor anaerobio de flujo ascendente rectangular

El agua residual debe estar bien distribuida en forma uniforme cerca del fondo del reactor (10-20 cm), mediante una serie de tubos y donde cada uno cubre un área de 1 ó 2 m<sup>2</sup> del fondo del tanque. Principalmente para agua residual doméstica es importante garantizar una distribución uniforme con un control individual en cada punto (tubo) de distribución del agua, por ejemplo, esto es posible por inyección del agua residual en el canal principal localizado en la parte superior del reactor, desde el cual los tubos pueden tomar el agua residual doméstica para cada punto de distribución.

La geometría corresponde a un tanque circular o rectangular que puede estar completamente tapado y sólo se puede observar los tubos de recolección de gas. En otros casos se podrá observar en la zona superior del reactor, el sedimentador, los vertedores y el sistema de recolección del gas. El recolector de biogás puede encontrarse, ya sea entre dos unidades de sedimentación o sobre el borde del sedimentador. En cuanto al material de construcción, el reactor puede estar construido en concreto armado con el uso de un revestimiento anticorrosivo. La forma rectangular presenta facilidades para la distribución del influente en el fondo del reactor y la modulación del sistema. Algunos reactores presentan varias unidades de sedimentación, dependiendo de su tamaño.

Estos reactores se diseñan para tiempos de retención hidráulica entre 4 y 8 horas, con eficiencias de remoción de materia orgánica del 60 a 80% y una remoción de patógenos que oscila del 60 a 80 %. Las principales condiciones que deben tomarse en cuenta en estos reactores son: una efectiva separación de biogás; el lodo anaeróbico debe presentar buena capacidad de sedimentación (granular); el desagüe debe ser introducido en la parte inferior del reactor.

#### **b) Control del proceso**

Existen ciertos parámetros que contiene el agua residual que pueden afectar el buen funcionamiento de este proceso, tales como: compuestos tóxicos, concentración de materia orgánica, temperatura, pH y nutrientes. El proceso ocurre en un rango aceptable entre 15 y 25 °C y a un rango relativamente alto de 30 a 40 °C. Los países con clima tropical presentan una temperatura ambiente ideal para su aplicación.

Si el agua residual carece de nutrientes como Nitrógeno (N) y Fósforo (P), el tratamiento puede llevarse a cabo si se le adiciona al sistema nutrientes en las siguientes relaciones: DQO/N <70 y DQO/P <350. El pH óptimo para la digestión anaerobia es alrededor de 7. Un valor pH fuera del rango de 6.5 a 7.5 puede ocasionar la muerte para la mayoría de las bacterias metanogénicas.

El efluente del RAFA puede contener materia orgánica soluble, patógenos, sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo. La eliminación de patógenos en este proceso no es eficiente, necesiéndose aplicar sistemas de desinfección, ejemplos: cloración, radiación ultravioleta, ozonización, filtros de arena, lagunas de estabilización, etc.

La producción de lodos en este tipo de reactores es mínima comparada con un proceso aeróbico, por lo que no se requiere una purga constante. La remoción de lodos se deberá realizar, cuando éstos ocupen un volumen mayor a un tercio de la capacidad del reactor.

#### 2.3.2.4 DIGESTOR ANAEROBIO CONVENCIONAL

Este sistema se ha aplicado principalmente para la estabilización de lodos de desecho que provienen del proceso de lodos activados. Consiste en un tanque cerrado sin agitación y sin calentamiento, en donde el desecho a tratar se estratifica en zonas definidas.

La parte en donde se lleva a cabo la totalidad de la actividad microbiana representa alrededor del 30% del volumen total del digestor que aunado a la lentitud de la cinética de degradación bajo estas condiciones, se obtienen volúmenes de reactor considerables (tiempos de retención mayores a 30 días).

#### 2.3.2.5 DIGESTOR ANAEROBIO COMPLETAMENTE MEZCLADO

En este tipo de reactor, se emplea una agitación vigorosa del medio de reacción, acompañada con frecuencia de un calentamiento del reactor, lo que se traduce en mayores eficiencias en la remoción de materia orgánica.

Su principal aplicación es el tratamiento de lodos de desecho de grandes plantas de lodos activados. Los tiempos de retención van de 12 a 20 días.

#### 2.3.2.6 REACTOR DE CONTACTO ANAEROBIO

Consiste básicamente en un reactor completamente mezclado acoplado a un sedimentador que separa la biomasa para que sea recirculada al reactor. Con la recirculación, la cantidad de microorganismos en el reactor aumenta al igual que su tiempo de permanencia dentro del sistema, sin que el tiempo de retención hidráulica se incremente. Esto resulta en volúmenes de reactor más pequeños y en una mayor estabilidad del proceso.

Los tiempos de retención hidráulica son del orden de 5 días y el tiempo de retención celular varía entre 15 y 30 días. Este sistema se ha aplicado en el tratamiento de aguas residuales de industrias de alimentos.

#### 2.3.2.7 FILTRO ANAEROBIO

Young y Perry (1969), recomendaron el filtro anaerobio para aplicarse, inicialmente en sustratos solubles y medianamente concentrados en materia orgánica. Contiene como material de empaque soportes plásticos o piedras de 3 a 5 cm de diámetro promedio. El área específica no debe ser mayor a  $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Este tipo de reactor puede admitir cargas hasta de  $10 \text{ kg DQO}/\text{m}^3 \text{ d}$ .

#### 2.3.2.8 REACTOR TUBULAR DE PELÍCULA FIJA

Van der Berg y Lentz (1979), en EUA, desarrollaron el reactor tubular de flujo ascendente o descendente. El soporte utilizado, consiste en tubos o placas dispuestas de tal forma que se crean canales verticales. Las relaciones área/volumen deben ser mayores a  $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$  y las cargas aplicadas pueden llegar hasta  $30 \text{ kg DQO}/\text{m}^3 \text{ d}$ .

#### 2.3.2.9 REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)

Este tipo de reactor fue desarrollado en Holanda por Lettinga *et al.*, (1980); este sistema no requiere de soporte para retener la biomasa, lo que implica un ahorro importante en costos. Su funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad y actividad de la biomasa producida dentro del reactor (en forma de gránulos) y el flujo ascendente. Las cargas orgánicas alimentadas a este reactor pueden llegar hasta  $40 \text{ kg DQO}/\text{m}^3 \text{ d}$ .

#### 2.3.2.10 REACTORES DE TERCERA GENERACIÓN

Estos reactores se encuentran aún a nivel piloto o semi-industrial. Son también de película fija pero el soporte utilizado es lo suficientemente pequeño y ligero para que pueda pasar fluidificados con la recirculación del efluente.

Se han desarrollado dos tipos de reactores, lecho expandido y el de lecho fluidificado, que casi son semejantes entre sí, pero se diferencian en el grado de fluidificación de soporte (20% para el lecho expandido y superior al 50% para el lecho fluidificado).

Su avance consiste en tiempos de retención inferiores a 12 horas. Sin embargo, estos sistemas requieren energía para la recirculación y la fluidificación del lecho; además, su operación y arranque son en extremo delicados. Las cargas aplicadas pueden sobrepasar los  $40 \text{ kg DQO}/\text{m}^3 \text{ d}$ .

### 2.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS AEROBIOS - ANAEROBIOS

Una de las ventajas del tratamiento anaerobio es la baja producción de lodos, a diferencia de los procesos aerobios que generan casi diez veces más lodo, con sus consecuentes problemas de tratamiento y disposición.

Asimismo, la energía contenida en el metano, obtenido por vía anaerobia, puede ser utilizada como energía calorífica directamente o transformada a mecánica o eléctrica según las necesidades existentes en el sitio.

Otro punto es que el proceso aerobio requiere un suministro de oxígeno, lo que representa un costo energético importante. Es así, que mientras el proceso anaerobio es un productor neto de energía, el proceso aerobio la consume. Esta tendencia, se acentúa en los casos en que los lodos de purga de la planta aerobia son digeridos aerobiamente, lo que implica un costo energético adicional.

En cuanto a los lodos producidos en el proceso anaerobio, estos pueden estar suficientemente estabilizados como para poder ser evacuados directamente, sin un tratamiento previo. Por tanto, se puede considerar la vía anaerobia como altamente eficiente en la conservación de energía, mientras que en la aerobia integral (agua y lodos), el dispendio energético es considerable.

Las cargas orgánicas que pueden recibir los reactores anaerobios fluctúan entre 10 y 20 kg DQO/m<sup>3</sup>d, mientras que en los aerobios son alrededor de 10 veces menores. Esto significa que para un agua con una elevada DQO (superior a 5 g/L), el volumen del reactor anaerobio será menor en esa misma proporción que el del reactor aerobio. La Tabla 2.4 presenta en forma resumida las ventajas y desventajas de los procesos aerobio y anaerobio.

Tabla 2.4 Ventajas y desventajas de los tratamientos aerobio y anaerobio

Ventajas	Desventajas
Aerobio	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta eficiencia en la remoción de materia orgánica.</li> <li>Son procesos relativamente estables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere aeración.</li> <li>Produce 10 veces más lodo biológico.</li> <li>Inadecuado para tratar residuos líquidos con altos contenidos de materia orgánica.</li> <li>No soporta periodos largos sin alimentación.</li> </ul>
Anaerobio	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Menor producción de lodo biológico.</li> <li>Posibilidad de tratar desechos con alto contenido de materia orgánica.</li> <li>Utilización del metano para producir energía.</li> <li>Periodos prolongados sin alimentación.</li> <li>El lodo biológico en el rango termofílico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lentitud en el arranque.</li> <li>Adaptación lenta a variaciones en la alimentación.</li> <li>Dificultad en su control.</li> <li>Productos reducidos en el efluente (requiere un postratamiento).</li> <li>Complejidad en el sistema de distribución.</li> <li>Dificultad en la construcción si son profundos.</li> <li>El agua resultante tiene una alta cantidad de amonio.</li> </ul>

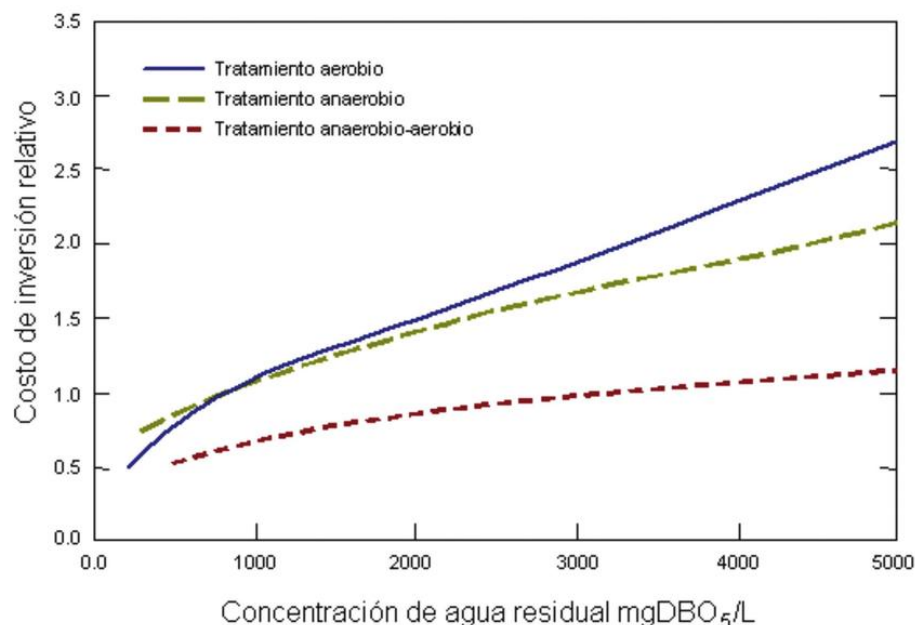
La aplicación de los procesos anaerobios en el tratamiento de las aguas residuales muy diluidas, como es el caso del agua residual doméstica, presenta comparativamente menos ventajas.

En este sentido, los reactores anaerobios avanzados (de alta tasa) producen un efluente de menor calidad que el proveniente de un proceso aerobio bien operado.

Es así que los efluentes tratados por vía anaerobia pueden requerir un postratamiento, ya que conservan aún cierto contenido de materia orgánica, lo que proporciona cierta desventaja.

La necesidad de realizar el postratamiento, estará determinada por las condiciones particulares de descarga que le hayan sido fijadas a la empresa. En la mayoría de los casos, el postratamiento será aerobio, por lo que resulta un proceso combinado altamente eficiente en la remoción de contaminantes, autosuficiente energéticamente y con costos de inversión, operación y mantenimiento sensiblemente menores que los de un proceso totalmente aerobio.

Una estimación comparativa de los costos de inversión, de operación y de mantenimiento para tres tipos de sistemas: totalmente aerobio, anaerobio mas aerobio y totalmente anaerobio, en función de la concentración de la materia orgánica en el influente, se presenta en las Figura 2.29 , Figura 2.30 y Figura 2.31 (Eckenfelder *et al.*, 1988). En ellas se reportan los valores relativos al tomar como la unidad (valor relativo de 1.0) el punto donde los costos de las opciones aerobia, anaerobia – aerobia son los mismos. Es necesario hacer notar que las estimaciones de costos, se relacionan con procesos que logran la misma



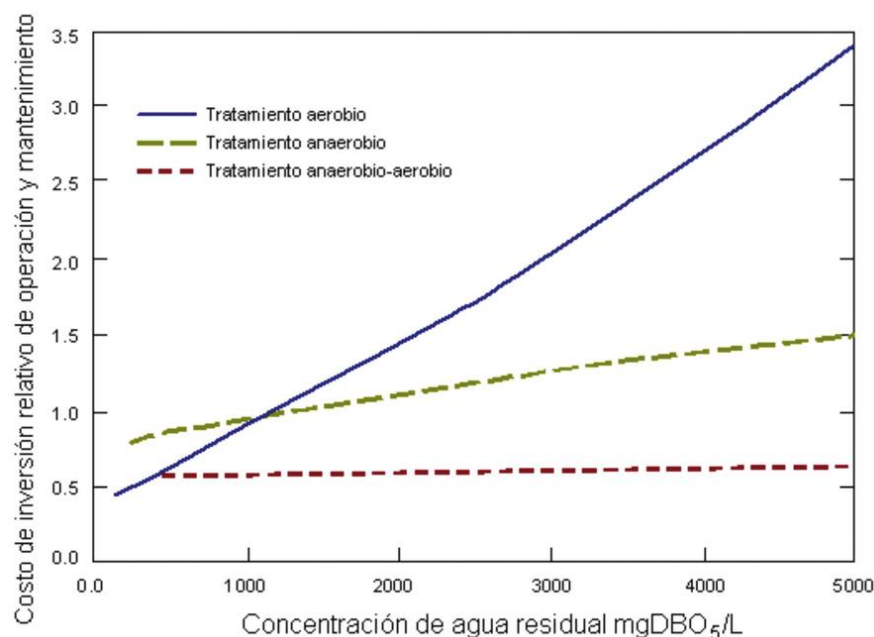
FUENTE: Eckenfelder et al., 1988.

Figura 2.29 Comparación de costos de inversión



calidad del agua tratada en el caso del aerobio y la unión anaerobia - aerobia; el proceso totalmente anaerobio alcanza una calidad de agua inferior a los anteriores.

La Figura 2.29 muestra que el costo de inversión relativo se incrementa prácticamente en forma lineal con la concentración en el influente, a diferencia de la opción anaerobia que es poco sensible a esta variable.



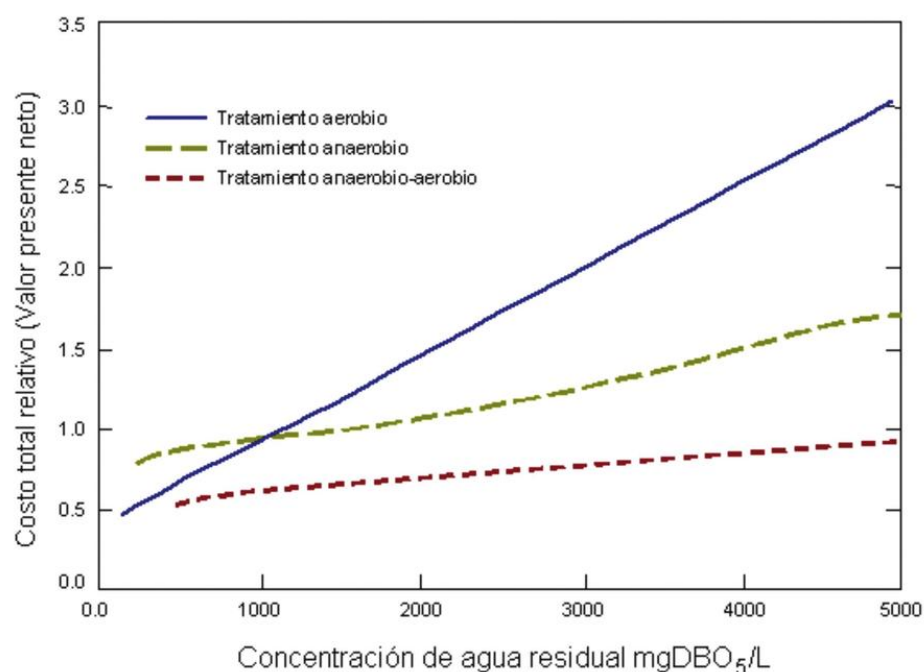
FUENTE: Eckenfelder *et al.*, 1988.

Figura 2.30 Comparación de costos de operación y mantenimiento

En la Figura 2.30 los costos relativos de operación y de mantenimiento se elevan rápidamente con la concentración para el caso del proceso aerobio, mientras que el anaerobio permanece prácticamente constante. En este sentido, es de esperarse que para concentraciones de materia orgánica mayores a la de la Figura 2.30, el valor económico de la elevada producción de biogás pueda cubrir los costos de operación y mantenimiento, obteniéndose así un beneficio neto.

Finalmente, la Figura 2.31, resume los costos totales expresados como valor presente neto relativo para los tres sistemas; lógicamente, se pueden observar las mismas tendencias.

De la información anterior, se desprende que el proceso anaerobio o inclusive el anaerobio -aerobio, pueden generar ingresos netos mediante la recuperación del biogás producido, cuando el agua residual tiene una alta concentración en materia orgánica. Sin duda,



FUENTE: Eckenfelder *et al.*, 1988.

Figura 2.31 Comparación de costos totales, como valor presente neto

este es el único proceso que puede, eventualmente, convertir el tratamiento de aguas residuales, no en una carga, sino en una fuente de ahorro para la industria.

## 2.4 PANORAMA GENERAL DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN MÉXICO

La ubicación de la población y las actividades económicas permiten clasificar las descargas de aguas residuales en municipales y no municipales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria autoabastecida.

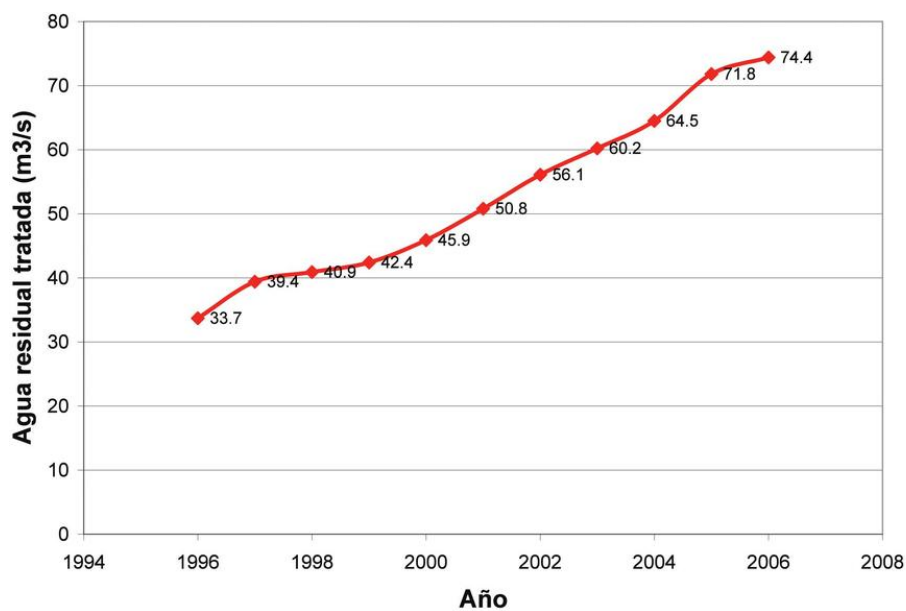
En la Tabla 2.5 se puede observar la cantidad de agua que genera cada una de las actividades, así como la tratada, además de sus cargas orgánicas correspondientes.

En la Figura 2.32 se puede observar la tendencia de tratamiento de agua residual en el país, que en el 2006 ha sido de 74.4 m<sup>3</sup>/s, y sólo representan un 36% de los 206 m<sup>3</sup>/s que se recolectan en los sistemas de alcantarillado, y un 31% del total del agua residual que se genera.

Tabla 2.5 Descargas de aguas residuales (2006)

Descargas municipales		
Aguas residuales	242	m <sup>3</sup> /s
Se recolectan en alcantarillado	206	m <sup>3</sup> /s
Se tratan	74.4	m <sup>3</sup> /s
Se generan	2.06	Millones de toneladas de DBO <sub>5</sub> al año
Se recolectan en alcantarillado	1.75	Millones de toneladas de DBO <sub>5</sub> al año
Se remueven en los sistemas de alcantarillado	0.52	Millones de toneladas de DBO <sub>5</sub> al año
Descargas Industriales		
Aguas residuales	183	m <sup>3</sup> /s
Se tratan	27.7	m <sup>3</sup> /s
Se generan	6.74	Millones de toneladas de DBO <sub>5</sub> al año
Se remueven en los sistemas de alcantarillado	0.82	Millones de toneladas de DBO <sub>5</sub> al año

Fuente: CONAGUA, (2007).



Fuente: CONAGUA, (2007)

Figura 2.32 Histórico de agua residual tratada en México

Actualmente, en México existen 1,593 plantas de tratamiento de aguas residuales (Tabla 2.6), con una capacidad instalada de tratamiento de cerca de 100 m<sup>3</sup>/s, sin embargo, el tratamiento es de tan solo de un 75%. De las entidades federativas que destacan por su capacidad de tratamiento están Nuevo León (11 m<sup>3</sup>/s), Chihuahua (6.24 m<sup>3</sup>/s), Estado de México (4.73 m<sup>3</sup>/s) y Baja California con 4.44 m<sup>3</sup>/s que en suma representan el 35.3% del agua tratada. Esto es de destacar ya que solo son cuatro estados, lo que indica que en el resto, 28 estados, se trata un 64.5 %, que sugiere un retraso en tratamiento de aguas residuales.

Tabla 2.6 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales por entidad federativa

Entidad Federativa	No. de plantas en operación	Capacidad instalada (m <sup>3</sup> /s)	Caudal tratado (m <sup>3</sup> /s)
Aguascalientes	101	3.72	3.29
Baja California	28	6.41	4.44
Baja California Sur	16	1.11	0.82
Campeche	10	0.08	0.05
Coahuila	13	3.46	2.75
Colima	47	0.69	0.38
Chiapas	11	1.11	0.95
Chihuahua	116	7.98	6.24
Distrito Federal	30	6.54	3.53
Durango	138	3.47	2.55
Guanajuato	36	4.93	3.69
Guerrero	33	3.21	1.80
Hidalgo	8	0.06	0.05
Jalisco	95	3.42	3.28
México	78	7.30	4.73
Michoacán	21	1.53	1.04
Morelos	22	1.25	1.01
Nayarit	59	1.90	1.17
Nuevo León	61	13.09	11.10
Oaxaca	56	0.87	0.66
Puebla	82	3.12	2.42
Querétaro	63	1.00	0.77
Quintana Roo	29	2.08	1.60
San Luis Potosí	12	1.99	1.30
Sinaloa	107	4.79	3.82
Sonora	66	3.75	2.58
Tabasco	60	1.46	1.21
Tamaulipas	33	3.44	3.44
Tlaxcala	39	1.03	0.74
Veracruz	86	4.53	2.53
Yucatán	12	0.08	0.07
Zacatecas	25	0.39	0.34
Total	1593	99.76	74.39

FUENTE: CONAGUA, (2007).

El proceso de lodos activados como tratamiento de aguas residuales en México es muy antiguo y sigue vigente, y actualmente es el proceso principal de tratamiento, según cifras de la Comisión Nacional del Agua, ya que del 2001 al 2006 el caudal tratado de este tipo las plantas se ha incrementado de un 20 a un 41% (Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Principales proceso de tratamiento de aguas residuales municipales

Proceso	Número	Caudal tratado (m <sup>3</sup> /s)	Porcentaje
Biodiscos	7	0.48	0.6
Dual	9	4.05	5.4
Filtros biológicos	43	3.49	4.7
Lagunas de estabilización	622	13.81	18.6
Lagunas aeradas	19	5.07	6.89
Lodos activados	372	30.93	41.6
Primario	12	2.09	2.8
Primario avanzado	17	9.85	13.2
RAFA	122	1.06	1.4
Reactor enzimático	50	0.09	0.1
Tanque Imhoff	63	0.42	0.6
Tanque séptico	82	0.16	0.2
Humedales	110	0.42	0.6
Zanjas de oxidación	23	2.17	2.9
Otros	39	0.28	0.4
Total	1593	74.39	100

FUENTE: CONAGUA, (2007)

En la Tabla 2.8 se muestra el número de plantas de aguas residuales industriales por entidad federativa, de lo cual se puede ver que existen 1868 plantas con una capacidad de tratamiento instalada de 42.23 m<sup>3</sup>/s, de los cuales sólo se utiliza 27.66 m<sup>3</sup>/s, que representan tan sólo un 65.5%, esto muestra una subutilización de las plantas de tratamiento de agua industrial.

Es importante hacer notar que el mayor caudal tratado está en los estados de Veracruz (8.63 m<sup>3</sup>/s), Nuevo León (3 m<sup>3</sup>/s), Estado de México (2.44 m<sup>3</sup>/s) y Morelos con 2.16 m<sup>3</sup>/s, que en conjunto representan el 58.7% del agua residual industrial que es tratada.

Tabla 2.8 Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales por entidad federativa.

Entidad Federativa	No. de plantas en operación	Capacidad instalada (m <sup>3</sup> /s)	Caudal tratado (m <sup>3</sup> /s)
Aguascalientes	42	0.20	0.10
Baja California	186	0.45	0.16
Baja California Sur	7	0.01	0.01
Campeche	31	0.08	0.06
Coahuila	64	0.86	0.59
Colima	8	0.47	0.31
Chiapas	18	0.69	0.69
Chihuahua	20	0.66	0.29
Distrito Federal	15	0.04	0.04
Durango	37	0.76	0.45
Guanajuato	45	0.40	0.18
Guerrero	7	0.05	0.04
Hidalgo	40	1.64	0.98
Jalisco	27	1.45	1.45
México	245	3.47	2.44
Michoacán	35	2.33	1.07
Morelos	68	2.26	2.16
Nayarit	4	0.16	0.16
Nuevo León	83	4.13	3.00
Oaxaca	13	1.08	0.94
Puebla	98	0.62	0.43
Querétaro	110	10.8	0.51
Quintana Roo	2	0.01	0.01
San Luis Potosí	73	1.28	0.55
Sinaloa	75	2.93	0.49
Sonora	28	0.60	0.46
Tabasco	108	0.61	0.15
Tamaulipas	46	1.60	0.83
Tlaxcala	104	0.39	0.35
Veracruz	160	11.63	8.63
Yucatán	62	0.14	0.10
Zacatecas	7	0.16	0.04
Total	1868	42.23	27.66

FUENTE: CONAGUA, (2007).





El proceso de lodos activados como tratamiento de aguas residuales fue desarrollado inicialmente en Manchester, Inglaterra, por Fowler, Ardern, Munford y Lockett, en 1914. En 1920 varias instalaciones iniciaban su operación en Estados Unidos de Norteamérica, sin embargo el uso extensivo de este sistema se dio hasta 1940. Los primeros investigadores notaron que la cantidad de materia biodegradable que entraba al sistema afectaba la tasa del metabolismo de los microorganismos. Los diseños en esa época fueron totalmente empíricos y el tiempo de retención del tanque de aeración fue uno de los primeros parámetros de diseño. Generalmente se seleccionaban cortos tiempos de retención para cargas orgánicas bajas y altos tiempos de retención para cargas orgánicas altas. Posteriormente surgieron criterios relacionados con la carga orgánica y los microorganismos del sistema, llegando a la relación conocida como A/M (Alimento/Microorganismos).

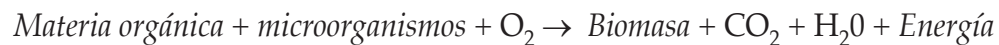
Hace 50 años se desarrollaron las ecuaciones derivadas de los conceptos de crecimiento cinético y los balances de masas; en años recientes se han desarrollado modelos de simulación por computadora. La solución de ecuaciones de diseño y los modelos de simulación requieren el conocimiento de la cinética y metabolismo microbianos.

A pesar de ser uno de los procesos biológicos de tratamiento de mayor costo de inversión en operación y mantenimiento, los lodos activados no pierden adeptos, ya que es un proceso altamente estable y sus eficiencias de remoción son mayores comparadas con otros procesos. Las modificaciones al proceso convencional son muy atractivas por su flexibilidad sobre todo en la aceptación de cargas orgánicas variables, en especial para tratamiento de aguas residuales municipales.

El sistema de lodos activados en México se inició en los años cincuenta; las plantas de tratamiento de aguas residuales de esa época eran concebidas para el reuso de las aguas tratadas para riego de áreas verdes, llenado de lagos y enfriamiento en la industria. Así fue como se construyeron las primeras plantas de este tipo en Monterrey, Nuevo León, y en la Cd. de México. La alta eficiencia del proceso, así como la posibilidad de ampliar la planta de lodos activados ya sea para la remoción de nutrientes o para remover mayor cantidad de sólidos mediante tratamiento avanzado, hacen de este proceso un atractivo para descargas que requieren bajas concentraciones de nutrientes o para reuso.

### 3.1 ASPECTOS GENERALES DEL PROCESO

Este sistema de tratamiento biológico se desarrolla en un ambiente rico en oxígeno (aerobio), con microorganismos y materia orgánica. Es similar al proceso biológico natural que se observa en las capas superiores del suelo que contiene gran variedad de microorganismos; la diferencia consiste en que en el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica del agua residual, la que sirve de alimento para su propio crecimiento y reproducción. El mecanismo básico del sistema se representa de una manera simple con la siguiente reacción biológica:



Los primeros microorganismos dirigen una parte de la materia orgánica absorbiéndola a través de su pared celular, produciendo ciertos desechos, que son utilizados como alimento por otros microorganismos. Este proceso de degradación acumulativa continúa hasta que la materia orgánica compleja original ha sido degradada y asimilada por la población biológica.

A medida que el flóculo crece y envejece cambia su composición bacterial, surgen los protozoos que se alimentan de bacterias y una alta proporción de flóculos pasa a estar constituida por células muertas y sólidos inertes acumulados, al tiempo que disminuyen la actividad biológica y la capacidad de oxidación. En otras palabras, se puede establecer que los flóculos pasan por diferentes fases: crecimiento, maduración y envejecimiento.

El lodo activado cuando es sano es de color café, huele a “tierra mojada”, presenta una estructura granular y sedimenta rápidamente. Por lo contrario, un flóculo pobre, liviano o flotante de crecimiento filamentoso, no sedimentará por gravedad y contribuirá con DBO y SST en el efluente.

El agua residual que ingresa continuamente al tanque de aeración, se mezcla con los lodos activados recirculados provenientes del sedimentador secundario, donde el aire es introducido para realizar una mezcla completa y proporcionar el oxígeno necesario para que los microorganismos remuevan la materia orgánica. La mezcla de lodo activado y agua residual que se produce en el tanque de aeración, se llama “licor mezclado”, el cual se envía a un tanque de sedimentación secundario o clarificador donde el agua se decanta para posteriormente ser desinfectada, y parte del lodo activado sedimentado se recircula, el lodo sobrante se envía a tratamiento o disposición. El aire es introducido al tanque de aeración, ya sea mediante difusores (Foto 3.1 y Foto 3.2) que se colocan en el fondo o por aeradores mecánicos superficiales los que pueden ser fijos, ubicados sobre plataformas o flotantes (Foto 3.3 y Foto 3.4).



Foto 3.1 Sistema de difusores

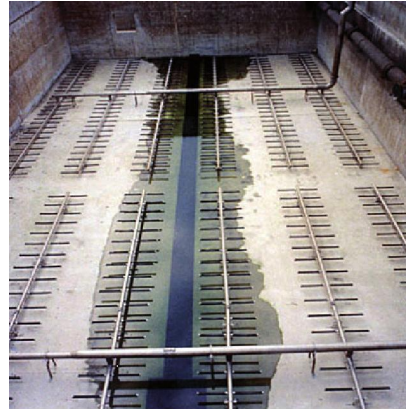


Foto 3.2 Sistema de difusión



Foto 3. 3 Aerador mecánico fijo



Foto 3.4 Aerador mecánico flotante

### 3.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

El proceso básico de lodos activados se integra de varios componentes que se interrelacionan entre sí. La Figura 3.1 y la Figura 3.2 muestran el flujo, las unidades y su función en una planta de tratamiento de aguas residuales completa.

1. Un pretratamiento, en donde se eliminan sólidos gruesos (generalmente basura orgánica e inorgánica) y arenas. Las unidades que se emplean son rejillas gruesas y finas, así como desarenadores de diversos tipos.
2. Un tanque de homogeneización o regulación opcional, de acuerdo con las condiciones del sitio, en el cual las variaciones de calidad del agua pueden ser amortiguadas, de tal manera que la concentración de compuestos a oxidar no presente un rango amplio. Además, este tanque permite absorber las variaciones de caudal de agua residual que se presentan durante el día, para así poder alimentar un gasto constante al sistema biológico.
3. Un sedimentador primario, en el que se eliminan sólidos suspendidos totales, principalmente constituidos de materia inorgánica y parte de materia orgánica.
4. Tanque de aeración (uno o varios) diseñado para un mezclado completo o para trabajar como flujo pistón.



5. Fuente de aeración que permita transferir el oxígeno y proporcione la mezcla que requiere el sistema. La fuente puede ser un soplador con difusores, aeración mecánica o a través de la inyección de aire o de oxígeno puro.
6. Sedimentador secundario (uno o varios) para separar los sólidos biológicos (lodos activados) del agua tratada.
7. Un mecanismo para recolectar los sólidos biológicos del sedimentador y recircular la mayor parte de ellos al reactor biológico o tanque de aeración, que se conoce como recirculación de lodos activados.
8. Un mecanismo para desechar el exceso de sólidos biológicos del sistema, se conoce como purga de lodos.
9. Una unidad de desinfección, para eliminar o inactivar microorganismos que pueden ocasionar un efecto negativo a la salud humana.
10. En el tratamiento de lodos, una unidad de espesamiento que permita manejar un lodo mas concentrado.
11. Un digestor de lodos que permita estabilizar la materia orgánica, de tal manera que la concentración de sólidos volátiles en el lodo disminuya.
12. Una unidad de deshidratación que permita eliminar agua libre de los lodos, para que el volumen del mismo se reduzca y su manejo y transporte y /o disposición se facilite.

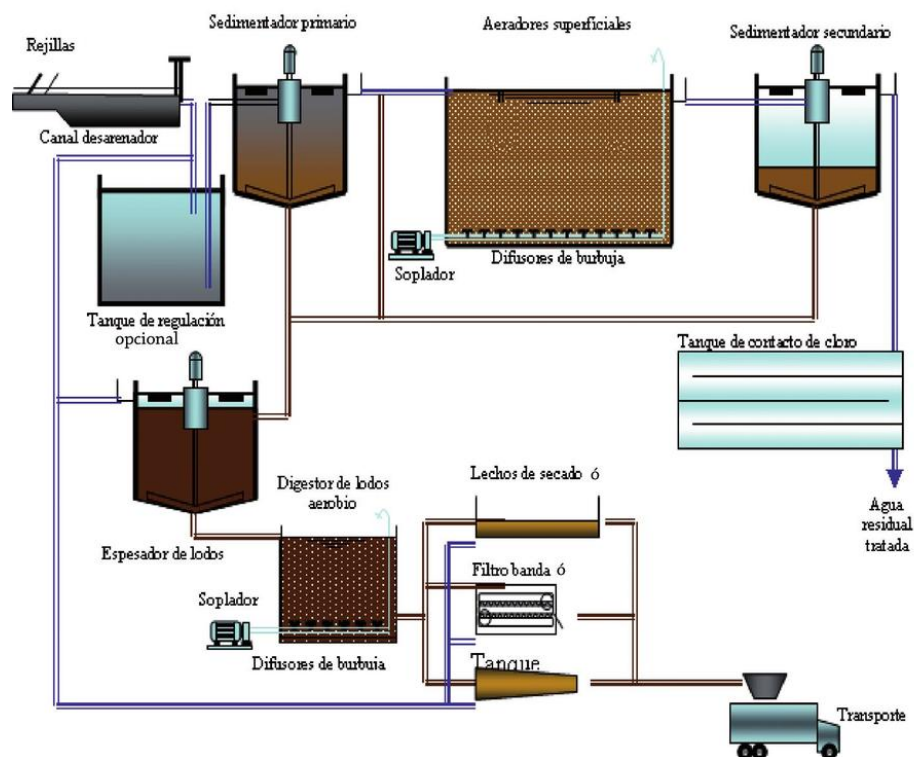


Figura 3.1 Planta de tratamiento de lodos activados

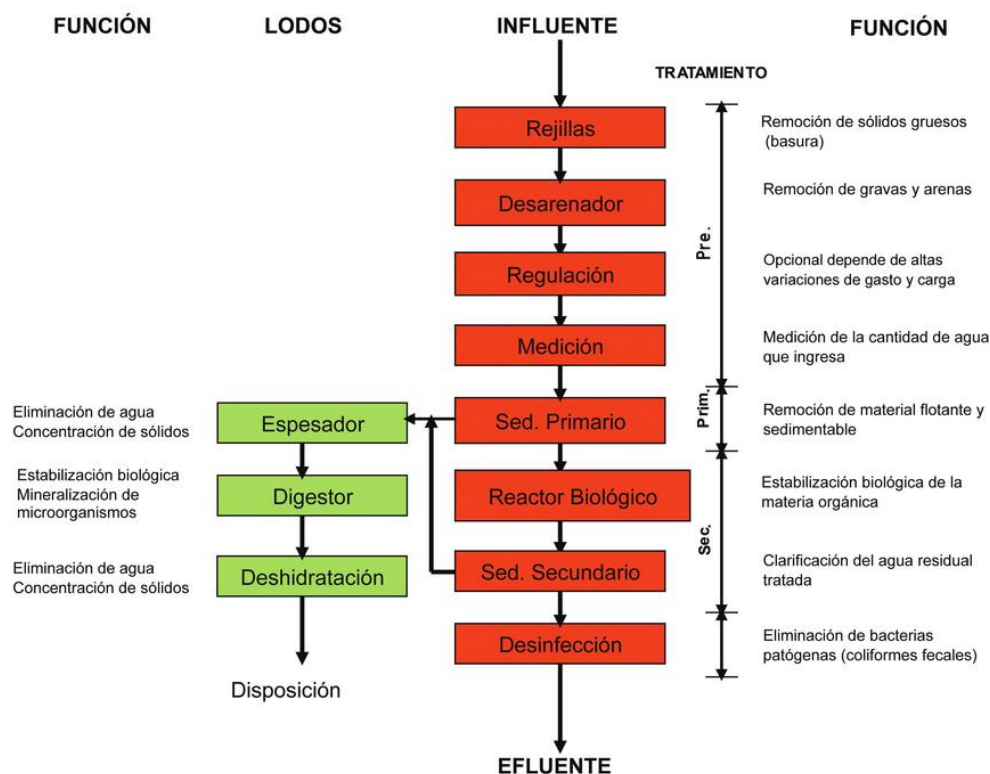


Figura 3.2 Diagrama de una planta de tratamiento de lodos activados

En una planta municipal típica, un proceso de lodos activados bien diseñado y operado puede alcanzar efluentes con 20 mg/L de  $\text{DBO}_5$  y 20 mg/L de sólidos suspendidos totales y en el mejor de los casos se pueden obtener eficiencias hasta de 10 mg/L de  $\text{DBO}_5$  y 15 mg/L de SST. Para alcanzar valores menores a estos últimos, se requiere tratamiento avanzado.

El proceso de lodos activados puede convertir casi toda la materia orgánica del influente en sólidos. Dichos sólidos al ser removidos producen un efluente de alta calidad.

Desafortunadamente la sedimentación de sólidos floculentos es una operación difícil de realizar, por lo que se requiere un control operacional cuidadoso del sistema.

Dentro de las variantes al proceso de lodos activados, las más utilizadas en México son los sistemas de aeración extendida.

### 3.3 VARIANTES DEL PROCESO

#### 3.3.1 FLUJO PISTÓN

El agua a tratar y el lodo activado recirculado entran en el tanque de aeración y se mezclan con aire disuelto o con agitadores mecánicos. El suministro del aire suele ser



uniforme a lo largo de toda la longitud del canal. Durante el período de aeración, se produce la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. Sin embargo, el crecimiento de los microorganismos puede variar, esto es debido a que la relación alimento/microorganismos es más alta al inicio del proceso y disminuye conforme el agua avanza a lo largo del reactor.

Generalmente, los periodos o los tiempos de retención hidráulica varían entre 4 a 8 horas, pero si el gasto de agua residual disminuye, los microorganismos pueden entrar en una fase endógena antes de que sean recirculados. Un diagrama de este proceso se muestra en la Figura 3.3 y en la Foto 3.5 una planta en operación.

Este proceso puede generar efluentes con  $\text{DBO}_5$  menores a 20 mg/L y es recomendable para gastos mayores a 5 L/s (Romero, 2005), para agua típicamente doméstica.

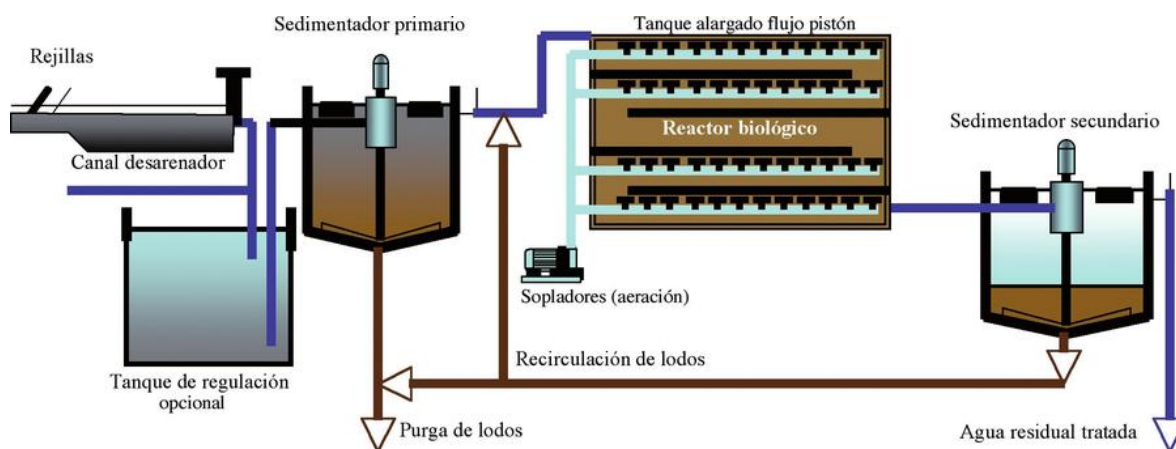


Figura 3.3 Sistemas de lodos activados flujo pistón

### 3.3.2 AERACIÓN DECRECIENTE

En tanques de aeración largos y angostos (relación largo/ancho mayor de 8) se presenta un flujo tipo pistón con una demanda mayor de oxígeno a la entrada, disminuyendo hasta la salida. La cantidad total de aire se obtiene como en un proceso de lodos activados convencional, pero su distribución se hace decrecer a lo largo del tanque colocando menos difusores o aeradores. Tal como se muestra en la Figura 3.4.

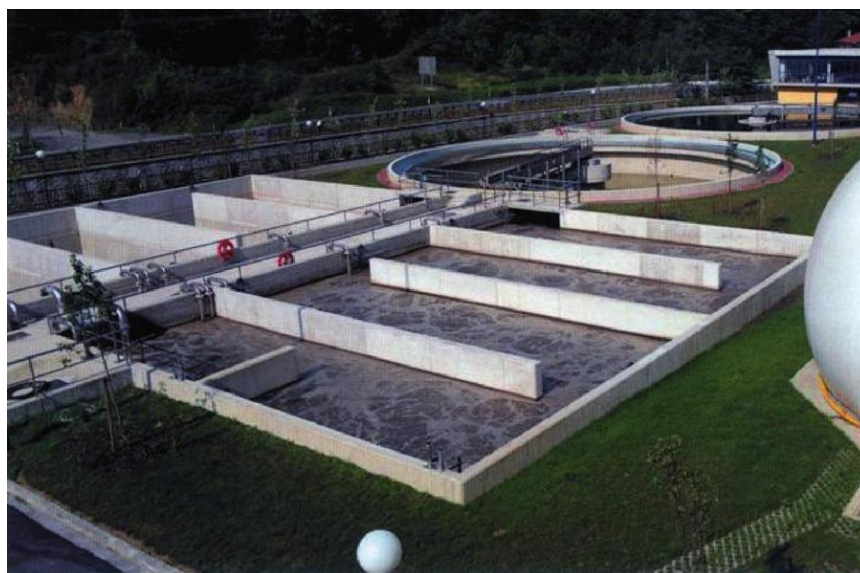


Foto 3.5 Planta de flujo pistón Alto Urola, España (Grupo Pridesa)

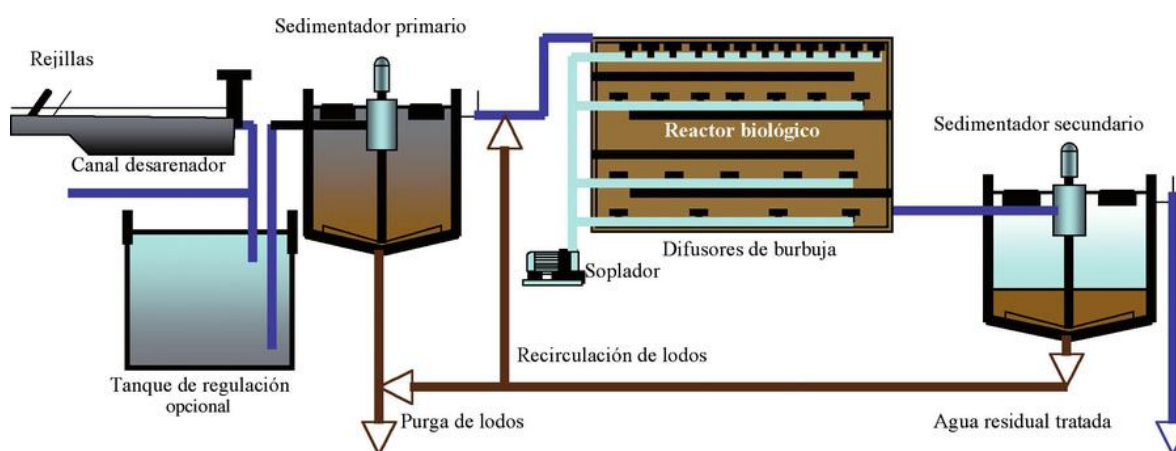


Figura 3.4 Sistema de aeración decreciente

### 3.3.3 MEZCLA COMPLETA CONVENCIONAL

Esta modificación consiste en uniformizar la aeración y la entrada del licor mezclado en el tanque de aeración y extraer los lodos de una forma homogénea en todo el tanque. Con este sistema se logra que la demanda de oxígeno permanezca constante en todos los lugares del tanque de aeración siendo más eficiente la utilización del aire suministrado.

Debido a que en las poblaciones existen diferencias horarias de generación de agua residual, el flujo de agua de entrada y de materia orgánica también varía, así este proceso, minimiza los desequilibrios de la relación alimento/microorganismos, al minimizar también el crecimiento de microorganismos que puede ser causado por dichas variaciones. Tal como se muestra en la Figura 3.5.

Es un proceso relativamente fácil de operar, pero tiende a tener concentraciones de sustrato bajo por lo que puede causar problemas de bulking.

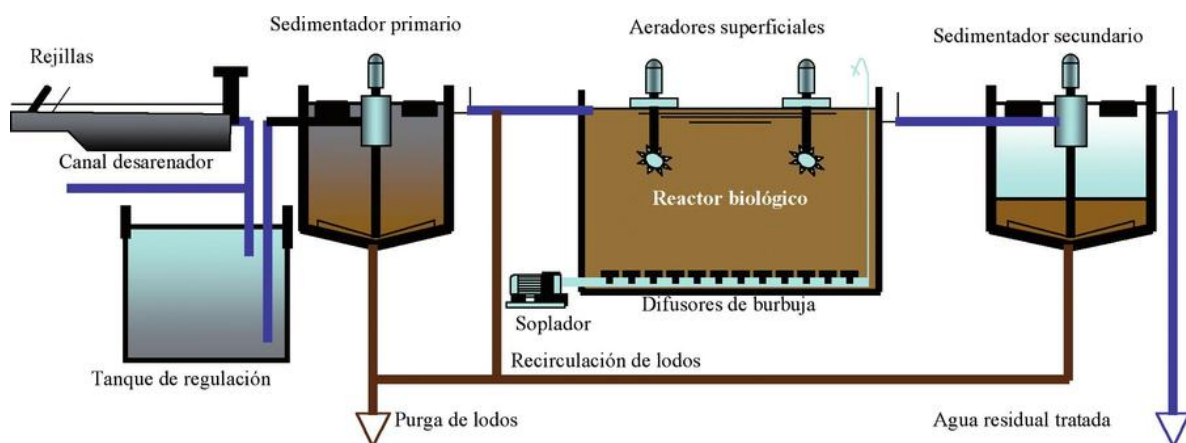


Figura 3.5 Sistema de mezcla completa convencional

### 3.3.4 AERACIÓN EXTENDIDA (OXIDACIÓN TOTAL)

Esta modificación consiste en aumentar el tiempo de retención hidráulica en el sistema de 18 a 36 horas en lugar de 4 a 8 horas que emplea el proceso convencional. Este periodo de aeración permite que el lodo sea parcialmente digerido dentro del tanque de aeración, esto es, los microorganismos están en una fase endógena y para lograrlo se requiere de una relación alimento/microorganismos baja. Tal como se muestra en la Figura 3.6.

Este proceso teóricamente puede no generar lodo al entrar los microorganismos en fase endógena, pero no es muy recomendable, debido a que la población microbiana puede hacerse vieja disminuyendo la eficiencia del proceso y repercutiendo en la calidad de agua de salida. Por lo que se recomienda realizar pequeñas purgas para favorecer la generación de microorganismos jóvenes y así mantener una población saludable. Una ventaja de esta modalidad es de que no se requiere de sedimentador primario (Figura 3.6)

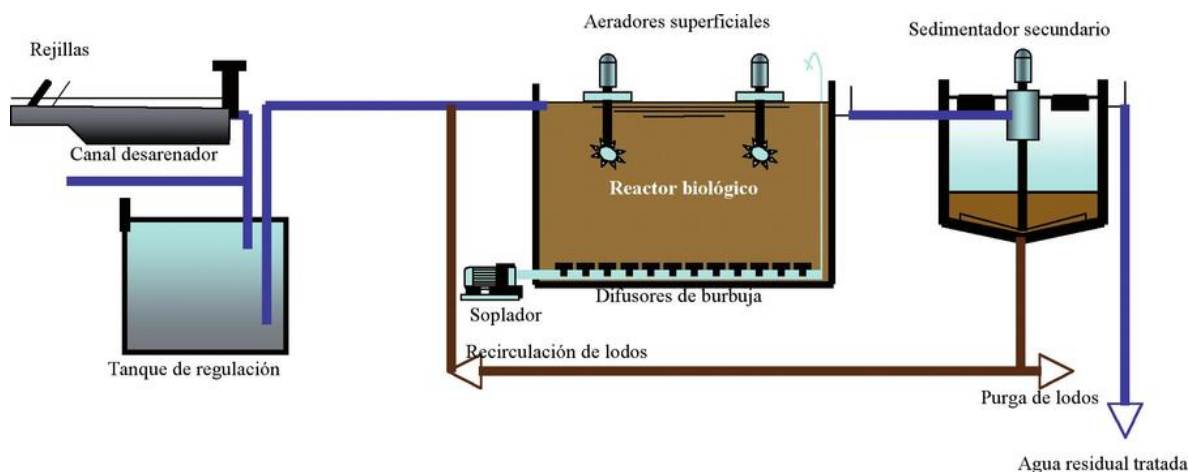


Figura 3.6 Aeración extendida

### 3.3.5 ESTABILIZACIÓN - CONTACTO

En esta variante, el agua residual es aerada durante un tiempo de 30 a 90 minutos en un tanque llamado “de contacto” para que los microorganismos absorban y asimilen la materia orgánica.

El lodo activado pasa al sedimentador secundario y es conducido a un tanque llamado “de estabilización” donde es aerado de tres a seis horas. Durante este periodo de tiempo el material orgánico absorbido es estabilizado para producir nuevos microorganismos, que renuevan la superficie de los flóculos. Parte del lodo recirculado se desecha y el restante se envía al tanque de contacto. Tal como se muestra en la Figura 3.7.

El proceso permite que los requerimientos de aeración sean por lo general 50% menos que en el proceso convencional. Es importante considerar que éste opera mejor con aguas residuales que contengan una carga orgánica que en su mayoría sea particulada o coloidal.

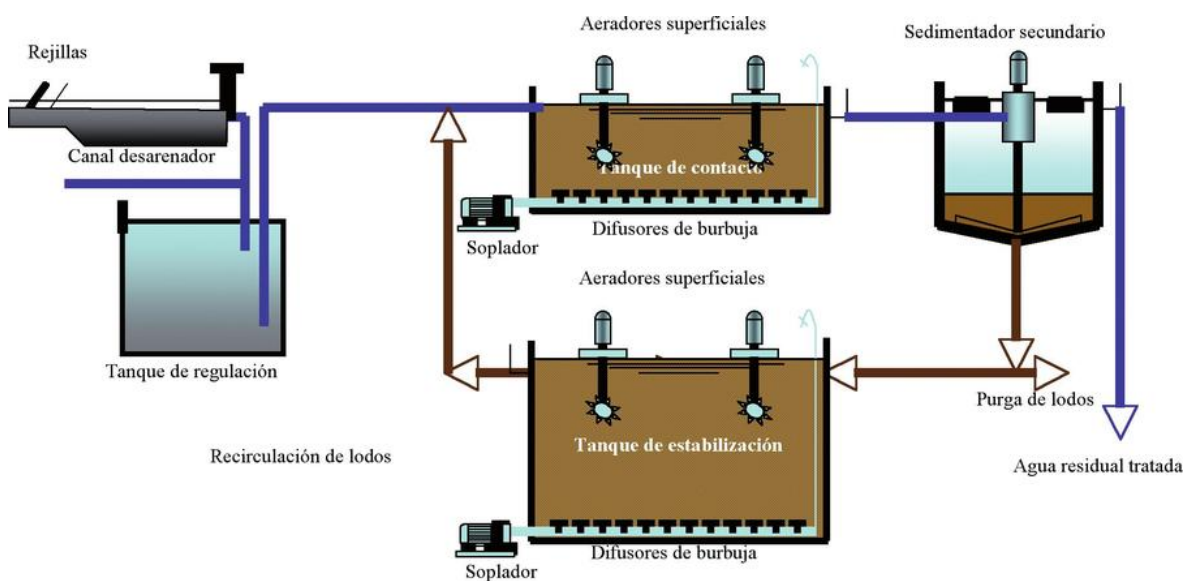


Figura 3.7 Estabilización - contacto

### 3.3.6 SISTEMA DE OXÍGENO PURO

Desde 1970, ha habido interés por los sistemas que utilizan oxígeno puro en lugar de aire, para eficientar los requerimientos de bacterias aerobias que realizan la depuración del agua. Los tanques de aeración en esta modalidad, se encuentran cubiertos y el oxígeno es recirculado a través de varias etapas que corresponden a diferentes compartimentos provistos por un agitador superficial que realiza la mezcla de agua residual y lodo activado permitiendo la inclusión del oxígeno.

El sistema permite el uso eficiente del oxígeno proporcionado con bajos requerimientos de energía.

El número de etapas depende de la concentración de carga orgánica del desecho, características del agua a tratar y calidad del efluente deseado.

El oxígeno empleado se genera en el sitio de la planta, en donde si la planta es grande el aire se licua y destila en unidades criogénicas; mientras que en plantas pequeñas la separación del oxígeno se obtiene absorbiendo el nitrógeno del aire.

Un diagrama de un tanque de suministro de oxígeno puro en un sistema de lodos activados con tres etapas, se presenta en la Figura 3.8.

Una característica de este proceso es que el contenido de oxígeno disuelto en el licor mezclado del reactor presenta concentraciones de 6 a 12 mg/L, y los contenidos de sólidos sedimentables son altos. Además, de que los volúmenes de lodo de purga y de los reactores son más pequeños.

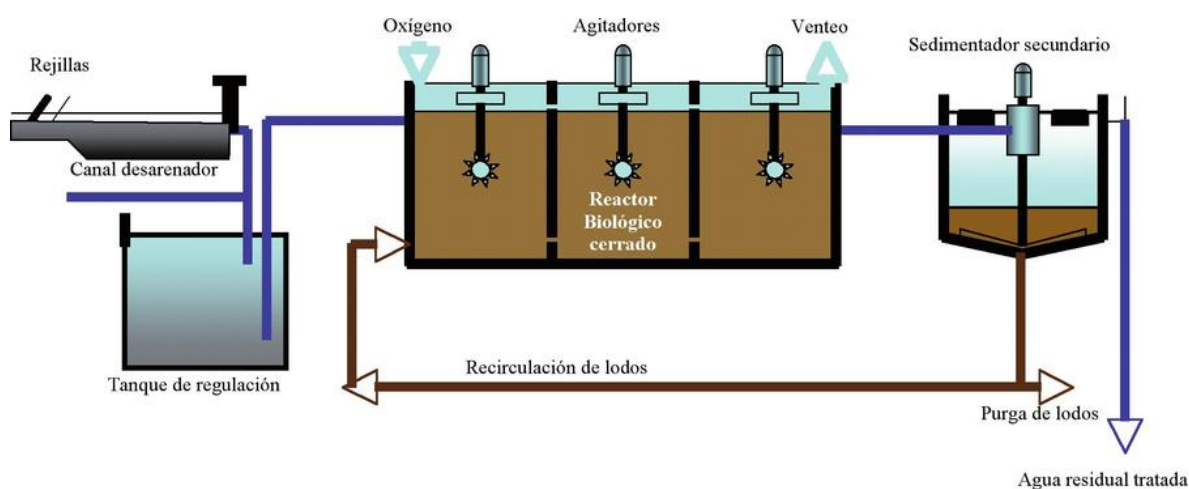


Figura 3.8 Tanque para un sistema de oxígeno puro en etapas múltiples

En el estado de Nuevo León a principios de los 90's, se diseñó una PTAR de 5 m<sup>3</sup>/s. La planta fue conceptualizada bajo la modalidad Diseño/Construcción (Llave-en-Mano) que comenzó a finales de 1992 y el arranque se inició en diciembre de 1995.

La planta de tratamiento de aguas residuales "Dulces Nombres" (Foto 3.6), recibe aguas residuales con concentraciones altas de DBO y SST debido al aporte de efluentes industriales. Las calidades de entrada (influyente) y salida (efluente) de la planta de tratamiento se presentan a continuación en la Tabla 3.1.



Tabla 3.1 Calidad del influente y efluente de la planta de tratamiento

Parámetro	Influente	Efluente
DBO, mg/L	350	30
SST, mg/L	347	30
Nitrógeno Amoniacal, mg/L	14	2
Nitrógeno Orgánico, mg/L	23	5
Coliformes Totales, NMP/100 mL		1000



Foto 3.6 Planta Dulces Nombres

La planta fue diseñada, modulada y con las facilidades para que su capacidad actual pueda ser fácilmente expandida al doble de su valor cuando sea requerido. La planta cuenta con cuatro componentes principales que son:

Tratamiento preliminar (*in situ*), tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento y disposición de lodos. Además, cuenta con otros componentes tales como: sistema de agua potable, sistema de agua no potable, laboratorio e instalaciones administrativas y de servicios, producción de energía eléctrica con lodos anaerobios.

El tratamiento secundario incluye: tratamiento biológico mediante lodos activados por oxígeno puro, clarificadores secundario y desinfección con cloro. Por interés del capítulo sólo se describirá el proceso biológico.



El sistema de lodos activados por oxígeno puro fue seleccionado por varias razones:

- 1) Un análisis preliminar de costos para este caso en particular mostró ser 10% menor que otros sistemas convencionales evaluados.
- 2) El uso de oxígeno puro permite que el tratamiento sea realizado en un tiempo de residencia hidráulica menor.
- 3) Al tener un tiempo de residencia hidráulica de aproximadamente la mitad del necesario en otros sistemas convencionales, el tamaño del reactor biológico se reduce considerablemente.

El efluente de los clarificadores primarios es enviado a los compartimientos cerrados del sistema de lodos activados. Los compartimientos consisten de cinco trenes y cada tren está dividido en cuatro etapas. Las dimensiones de cada compartimiento (tren) son 416 por 852 m con un nivel de agua de 5.58 m. El oxígeno de alta pureza es generado en sitio por equipos de separación a partir del aire (Planta Criogénica de Generación de Oxígeno: 5000 HP y tanque de almacenamiento de oxígeno a baja presión con capacidad de 320 m<sup>3</sup>).

Aeradores mecánicos superficiales proveen tanto la transferencia de oxígeno como la mezcla del agua residual con el oxígeno y con los lodos de retorno de los clarificadores secundarios. El uso de oxígeno puro permite mantener niveles altos de oxígeno disuelto (aproximadamente 5 mg/L) en todas las etapas de tratamiento, lo cual acelera el proceso de degradación biológica. El tiempo de retención hidráulica del sistema de lodos activados es de 5.3 h, mientras que el tiempo de retención de lodos es de 8 días. La concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado (SSLM) debe mantenerse a aproximadamente 3800 mg/L para aceptar una carga orgánica de 0.42 Kg DBO/Kg SSLM. El licor mezclado fluye de los compartimientos del reactor biológico a los clarificadores secundarios (Robinson, 1995).

### **3.3.7 PROCESO DE ALTA TASA**

El proceso de lodos activados de alta tasa combina una carga volumétrica alta con una concentración de sólidos suspendidos grande en el licor mezclado, tiempos de retención cortos, relación alta de alimento/microorganismos y edad de lodos reducida, con el objeto de disminuir los costos de construcción. En este tipo de plantas, para mantener una mezcla y oxigenación adecuada, es necesario usar mezcladores de turbina, además, se requiere mayor capacidad del sedimentador secundario para compensar la menor sedimentación del lodo y las tasas altas de recirculación de lodos.

### **3.3.8 ZANJAS DE OXIDACIÓN**

Las zanjas de oxidación son una variante del proceso de lodos activados por aeración extendida. El proceso se asemeja a la autopurificación de un río que mantiene condiciones aerobias en su recorrido, con una inoculación de microorganismos (lodos activados) en

el lugar de la aplicación de las aguas residuales. Tal como se muestra en la Foto 3.7 y la Foto 3.8.

El proceso se basa en suministrar el oxígeno por medio de rotores o aeradores mecánicos que hacen circular el agua en un canal cerrado, esta actividad también se puede llevar a cabo por difusores que se complementan con agitadores superficiales o sumergidos que le imprimen una velocidad horizontal al agua (licor mezclado) de 25 a 35 cm/s. Otro factor importante, es que al entrar el agua residual al sistema se logra una dilución de 20 a 30 veces.

Estos sistemas presentan un arreglo de aeración que permite que la concentración de oxígeno disuelto disminuya a lo largo del canal, propiciando condiciones anóxicas y por tanto el proceso de desnitrificación.

Este tipo de proceso biológico, es una modificación del proceso de lodos activados con las siguientes características:

- |                                    |                               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| • Población a servir:              | De 1,000 a 100,000 habitantes |
| • Consumo de energía:              | De 1 a 3 kg de DBO/kWh        |
| • Eficiencia de reducción de DBO:  | De 90 a 98%                   |
| • Oxígeno disuelto en el efluente: | Más de 1.5 mg/L               |



Foto 3.7 Zanja de oxidación con aeración superficial



FUENTE: ABS, 2009

Foto 3.8 Zanja de oxidación con aeración por difusión

En función de la población a servir, se recomiendan tres tipos de zanjas de oxidación:

1. Tipo canal simple, para poblaciones hasta de 1,000 habitantes.
2. Tipo canal doble para poblaciones entre 1,000 y 5,000 habitantes.
3. Tipo carrusel para poblaciones mayores de 5,000 habitantes.

#### a) Tipo canal simple

Este tipo de zanja consiste únicamente en un canal cerrado que posee una isleta divisoria, tal como se muestra en la Figura 3.9. El agua se mueve por medio de rotores o aeradores de tubo, también llamados tipo “cañón” que proporcionan aeración e impiden que se sedimenten en el fondo los sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado. Dentro de la zanja se acostumbra construir una fosa que acumule los lodos y que parcialmente los digiera para posteriormente desalojarlos.

#### b) Tipo canal doble

Este tipo consiste en dos zanjas tipo canal simple unidas tal como se muestra en la Figura 3.10. Al igual que en el caso anterior el agua se oxigena y mueve por medio de rotores o aeradores tipo cañón colocados al principio de la parte recta de los canales.

En función del cálculo de los lodos producidos, el canal de interconexión de las zanjas puede tener o carecer de tolva de concentración de lodos.

### c) Tipo carrusel

Este tipo de zanja consiste en un canal cerrado de gran desarrollo, tal como se muestra en la Figura 3.11. El agua se mueve por medio de aeradores mecánicos del tipo “trompo” que proporcionan aeración e impulsan el agua para mantener en suspensión los sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado. Los lodos se separan por medio de un sedimentador secundario y parte de los cuales se retornan a la zanja.

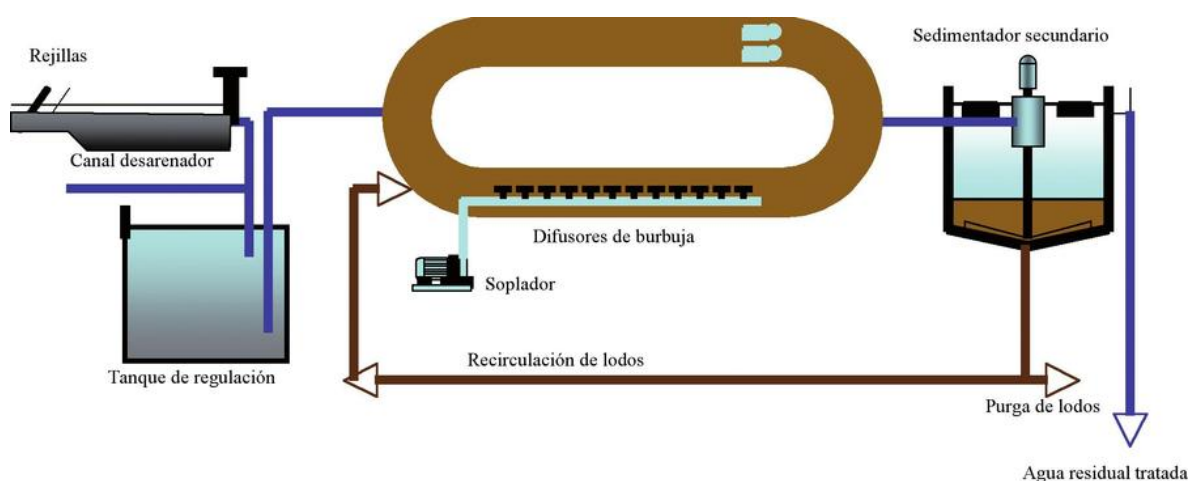


Figura 3.9 Zanja de oxidación tipo canal simple

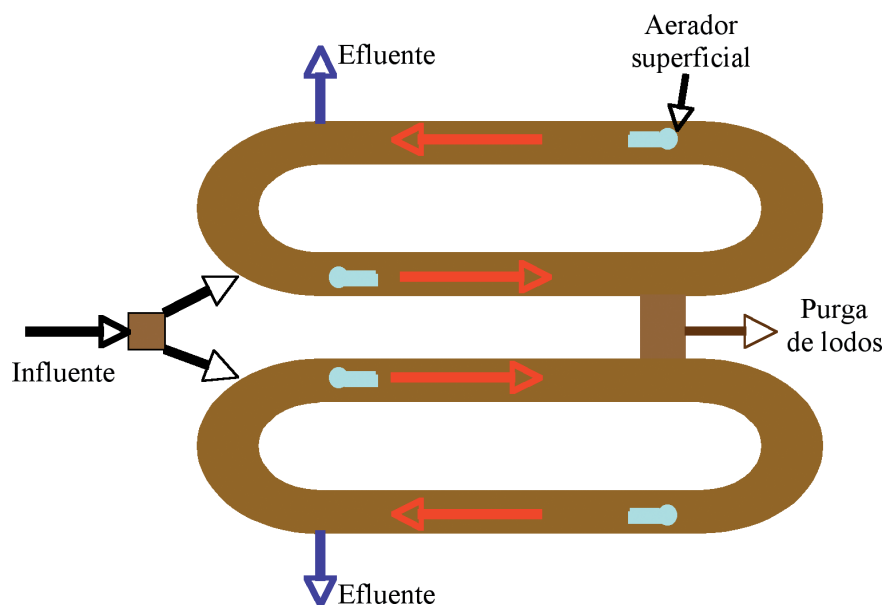


Figura 3.10 Zanja de oxidación tipo canal doble

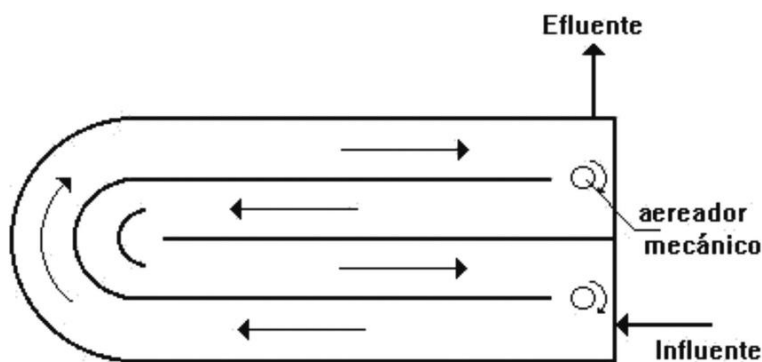


Figura 3.11 Zanja de oxidación tipo carrusel

### 3.3.9 ORBAL

Este proceso es una variación de las zanjas de oxidación, que está conformado por varios canales concéntricos. El agua residual entra en el canal exterior y va avanzando hacia los canales subsiguientes hasta llegar al centro.

Como se puede apreciar en la Figura 3.12, este sistema cuenta con un canal anóxico y uno o varios con aeración, lo que le permite realizar una nitrificación y una posterior desnitrificación (Foto 3.9). Se provee aeración a través de aeradores horizontales. La profundidad de los canales es de 4.3 m (Metcalf y Eddy, 2003).

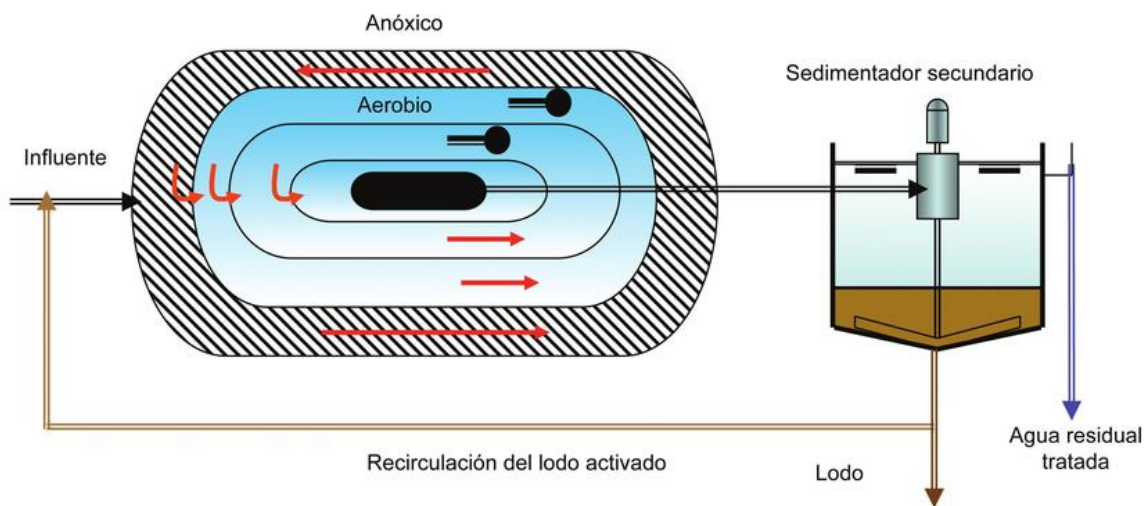


Figura 3.12 Sistema Orbal





Foto 3.9 Planta Orbal Ateca, Zaragoza, España (Instituto Aragonés del Agua)

### 3.3.10 PROCESO SECUENCIAL EN LOTES (SBR)

Este proceso consiste en llenar y vaciar un reactor de mezcla completa, el cual contempla todas las etapas de un sistema de lodos activados convencional. Para que el sistema opere de forma continua es necesario contar con al menos dos sistemas, debido a que mientras uno se llena el otro opera. Así, el sistema operará por ciclos compuestos por un llenado (2 a 3 h), aeración (2 a 8 h), sedimentación (0.5 a 2 h) y retiro de natas (0.5 a 1), Figura 3.13.

Una de las ventajas de este sistema es que todas las operaciones se realizan en un solo tanque, a menos que la concentración de SST y DBO del agua residual sea mayor a 500 mg/L, donde será necesario emplear sedimentación primaria. Sin embargo, requiere de un alto grado de control (Metcalf y Eddy, 2003).



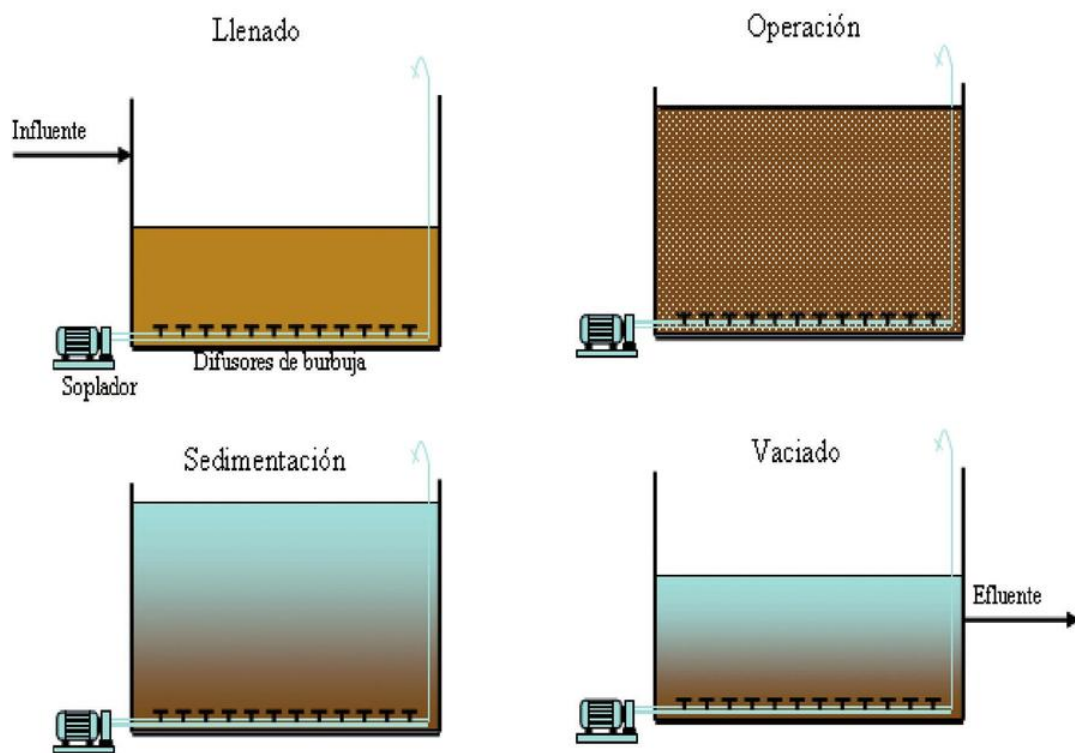


Figura 3.13 Sistema secuencial en lotes

### 3.4 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS

A continuación se presenta en la Tabla 3.2 una recopilación de los principales parámetros de diseño reportados en la literatura, esto con la finalidad de poder presentar una guía y establecer una comparación de los parámetros con que se diseñan las plantas de tratamiento actuales, y con los cuales se tendría que operar.

Tabla 3.2 Parámetros de diseño para procesos de lodos activados

PROCESO	$\theta_c$ (d)	$T_R$ (h)	(A/M) KgDBO <sub>5</sub> /kg MLSSV*d	SSVLM mg/L	$Q_r/Q$	Reducción DBO %
Flujo pistón	5-15	4-8	0.2-0.4	1000-3000	0.25-0.75	85-95
Aeración decreciente	5-15	3-5	0.2-0.4	2000-3500	0.25-0.75	85-95
Mezcla completa Convencional	5-15	4-8	0.2-0.6	1500-3000	0.25-1.0	85-95
Aeración extendida	20-30	18-36	0.05-0.15	3000-6000	0.5-1.5	75-95
Contacto estabilización	5-15	0.5-1 <sup>a</sup> 3-6 <sup>b</sup>	0.2-0.6	1000-3000 <sup>a</sup> 4000-10000 <sup>b</sup>	0.25-1	80-90
Oxígeno puro	8-20	1-3	0.25-1	3000-8000	0.25-0.5	85-95
Aeración alta carga	0.5-2	1.5-3	1.5-2	200-1000	1-1.5	70-90
Zanja de oxidación	15-30	15-30	0.04-0.1	3000-5000	0.75-1.5	75-95
Proceso secuencial en lotes	10-30	15-40	0.04-0.1	2000-5000	N/A	75-95

Nota: <sup>a</sup> Tanque de Contacto; <sup>b</sup> Tanque de Estabilización;  $\theta_c$  = Tiempo de residencia celular;  $T_R$  = Tiempo de residencia hidráulico; A/M (Alimento/Microorganismos).

FUENTE: Hernández, 1994; Metcalf y Eddy, 2003; Syed, 1999; Reynolds, 1982; Ramalho, 1991; Larry, 1980.



WATER ACT 8 SEP 06 11:00 AM  
18  
T4CF 289/200F -2  
NO CONTROL

WHIRL-PAK®

Nasco WHIRL-PAK®

Con excepción de ciertos desechos industriales y de servicios, las aguas residuales son un medio de cultivo ideal para el crecimiento de un gran número de microorganismos, los cuales juegan un papel importante en todas las etapas del tratamiento biológico de las aguas residuales.

Ningún organismo simple es capaz de utilizar la amplia variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos encontrados en las aguas residuales; consecuentemente, se desarrollará un ecosistema que se alimenta directamente con el agua residual que entra al proceso, y con la predación de organismos que se reproducen en el sistema.

La composición exacta de esta comunidad depende del resultado de la competencia por el alimento, limitado o variado. Por la influencia de factores ambientales, tales como el pH y la temperatura. El propósito del diseño y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales por lodos activados es crear condiciones favorables, de tal manera que los microorganismos proliferen y efectúen el proceso de tratamiento.

Los organismos vivos fueron clasificados originalmente en dos reinos: plantas y animales; esta clasificación tan simple no podía sostenerse. Los microorganismos incluyen ciertos grupos que tienen propiedades como las plantas (algas) y algunos como los animales (protozoarios) y algunos más con otras características (hongos). De esta manera, se reconoció otro reino, el Protista, el cual no cae naturalmente en ninguno de los reinos mencionados; este es el de mayor interés para la ingeniería sanitaria, ya que contiene a las bacterias, protozoarios y algas que son los microorganismos más importantes involucrados en el tratamiento de las aguas residuales.

La clasificación de Whittaker, divide a los seres vivos en cinco reinos: Monera, Protista, Hongos, Vegetales y Animales; se basa en la complejidad celular y la forma de nutrición.

En este capítulo interesa la célula bacteriana, ésta contiene sólo citoplasma, limitado por una membrana semipermeable, cubierto por una pared celular porosa (Figura 4.1).



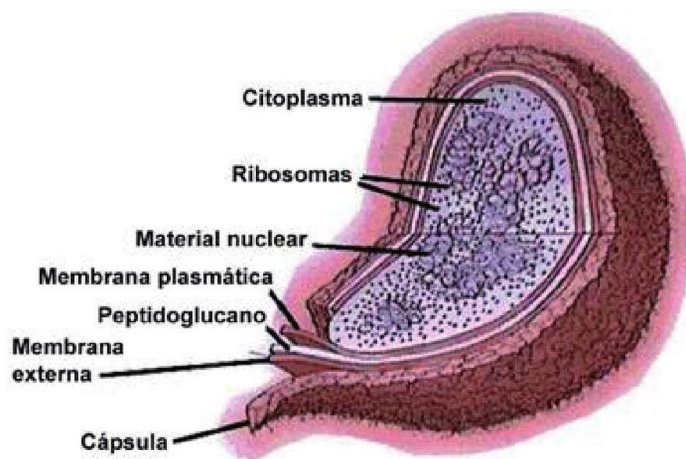


Figura 4.1 Una típica célula bacteriana

El citoplasma contiene el material nuclear. Además no existen membranas internas que aislen estructuras organizadas. Los organismos que poseen estas características son conocidos como procarióticos.

## 4.1 TIPOS DE MICROORGANISMOS

### 4.1.1 VIRUS

Los virus no intervienen en los procesos de tratamiento, su importancia es solamente sanitaria.

Los Enterovirus son encontrados comúnmente en los influentes y efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Dentro de los virus que causan enfermedades y pueden ser transmitidos por el agua están los siguientes:

El Poliovirus es asociado con la poliomielitis y afecta el sistema nervioso central; es uno de los virus más estables y puede ser capaz de causar enfermedad por relativamente largos periodos en agua y alimentos contaminados. La principal forma de transmisión es la ingestión de agua contaminada; las moscas son mecanismos vectores de esta enfermedad. La vacuna contra este virus ha reducido la incidencia de la poliomielitis y el reporte de casos ha disminuido. Las epidemias ocurren sólo en sectores de población donde no se ha aplicado la inmunización.

El virus causante del resfriado común, meningitis aséptica y conjuntivitis es el Coxsackie A, mientras que el Coxsackie B provoca diferentes enfermedades, incluyendo algunas del corazón. El principal modo de transmisión es la inhalación e ingestión de fuentes contaminadas.

El adenovirus se asocia con enfermedades del tracto respiratorio y conjuntivitis. Los virus de este tipo que han podido ser aislados de las aguas residuales y lodos, son causantes de fiebre relacionada con enfermedades de la faringe y ojos (conjuntivitis). Los adenovirus entéricos causan diarrea aguda y son asociados a excreciones fecales de infantes con gastroenteritis viral.

El causante común de gastroenteritis aguda viral, en todos los grupos de edades, normalmente es el Rotavirus. Las epidemias de estas enfermedades han sido asociadas con fuentes de agua contaminada: en agua cruda y en los efluentes de agua clorada de plantas de tratamiento de lodos activados se han encontrado altas concentraciones de este virus.

El agente causal de la hepatitis infecciosa es el virus de Hepatitis A; enfermedad sistémica que afecta al hígado; se transmite en forma oral a través de aguas residuales contaminadas y posee la habilidad de sobrevivir a bajos niveles de cloro residual. Las epidemias han surgido de abastecimientos municipales contaminados.

El personal de plantas de tratamiento de aguas residuales tiene una incidencia alta de exposición a este virus debido a su contacto diario con aguas residuales.

#### 4.1.2 BACTERIAS

Las bacterias son el mayor componente de la comunidad microbiana en todos los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. Normalmente se encuentran valores de  $10^6$  bacterias/mL o mayores en aguas crudas. Debido a su gran número y tamaño pequeño, se han desarrollado técnicas especializadas que permiten estudiar estos organismos en su hábitat natural, para inferir información que pueda ser utilizada por los ingenieros involucrados en el diseño y operación de plantas.

Debido al tamaño de las bacterias, entre 0.2 y 5  $\mu\text{m}$ , su identificación es imposible por medios visuales simples. Utilizando un microscopio de alta resolución es factible observar sus diferentes formas y tamaños, así como utilizar técnicas específicas para la observación de sus finos apéndices y algunos organelos internos. Este hecho facilita reconocer la morfología de las bacterias, siendo un paso importante en la identificación bacteriana.

Las bacterias se limitan a cuatro formas básicas: esfera, bastón recto, bastón curvo, espiral y algunas formas filamentosas.

Las bacterias esféricas son conocidas como cocos y sus diámetros son de 0.2 a 4  $\mu\text{m}$ . Los cocos pueden ser agrupados de acuerdo con su arreglo espacial, el cual se determina por sumado de división. El coco se divide por fisión; cuando la bacteria se incrementa en tamaño, se contrae y finalmente se parte en dos.



Si un organismo no se parte en dos después de la fisión y permanece como un par, se conoce como diplococo. Si se continúa dividiendo a lo largo del mismo plano sin separarse formando una cadena toma el nombre de estreptococo; un indicador bacterial estreptococo fecal es de este tipo. Finalmente, si la división toma lugar en tres dimensiones, formando un cubo de ocho cocos se le conoce como sarcina.

Los bastones rectos representan la morfología más común de las bacterias tanto en el ambiente natural como en las aguas residuales de plantas de tratamiento. Esto incluye muchas de las bacterias encontradas comúnmente, tales como las *Pseudomonas*, *Zooglea*, *Escherichia* y *Salmonella*.

Los bastones curvos forman una simple curva parecida a la letra C; son conocidos como Vibriones; en este grupo se incluyen la bacteria causante del cólera, el *Vibrio cholera* y un organismo capaz de reducir sulfatos a sulfuros, conocido como Desulfovibrio.

De tornillo o espiral conocidas como *Spirillum*. Estas bacterias se observan casi exclusivamente en muestras de agua y rutinariamente en muestras tomadas de digestores anaerobios.

Para hacer que las bacterias sean visibles bajo la luz del microscopio, se emplea una variedad de técnicas de teñido para colorear la bacteria por entero la estructura interna o la externa. Una de estas técnicas fue desarrollada por Christian Gram en 1884. Después de teñir una población mezclada de bacterias y examinarlas bajo el microscopio, las bacterias que aparecen moradas se llaman Gram positivos y las que aparecen rojas Gram negativos.

Un flagelo es una estructura en forma de látigo que sirve de medio de locomoción o movilidad a las bacterias. La presencia o ausencia de flagelo, el número y la distribución espacial alrededor de la bacteria son característicos de la especie. La mayoría de las bacterias flageladas son de forma de bastón; se distinguen tres formas de flagelo, un simple, situado en uno o en ambos extremos de la bacteria, un copete de flagelos en uno o en ambos extremos y un gran número de ellos alrededor de toda la bacteria.

Además del flagelo, muchas bacterias Gram negativos tienen una fina cubierta de pelos conos que pueden observarse en el microscopio electrónico. Estos pelos, menores de 1  $\mu\text{m}$  de largo y 0.01  $\mu\text{m}$  de diámetro, son conocidos como fibrinas o pili. Este pelo confiere a la bacteria la habilidad de adherirse una con otra, siendo muy importante para la formación de lodo activado floculante.

Algunas bacterias están rodeadas de una cubierta denominada material extracelular o cápsula, predominantemente compuesta por polisacáridos. La presencia de bacterias

con esta característica es importante en el proceso de lodos activados; este material polisacárido se involucra en el mecanismo de floculación del proceso. El polisacárido actúa como una red que envuelve a otros microorganismos.

Este tipo de bacteria tienen ventaja de sobrevivencia, como es la resistencia a la desecación y al ataque de bacteriófagos. También en periodos de depredación, son capaces de degradar su propio material. Tales ventajas son utilizadas en los sistemas de tratamiento de aguas, donde las condiciones de depredación de nutrientes son comunes por ejemplo, en el sedimentador secundario del proceso de lodos activados.

Las bacterias poseen algunas estructuras intracelulares, que sirven de indicador de su estado nutricional, dando información de la composición del influente a la planta o de condiciones de operación de la misma. La estructura intracelular comúnmente encontrada en bacterias de aguas residuales está compuesta de material de reserva.

Como resultado de cambios en las condiciones ambientales, tales como depredación de nutrientes (carbono, nitrógeno y fósforo principalmente) o desecación, muchas bacterias son capaces de iniciar cambios fisiológicos y morfológicos formando estructuras en estado latente. Una de estas estructuras es conocida como espora y es una adaptación para sobrevivir por tiempos prolongados bajo condiciones adversas como calor, congelamiento, tóxicos químicos y radiaciones.

Las esporas se forman en el centro o en un extremo de la bacteria y son altamente retráctiles, generalmente tiñen con dificultad, por lo que requieren tintes poderosos. La célula madre donde se origina la espora, conocida como esporangio, desaparece una vez que se forma la espora; las preparaciones de teñido muestran diferentes etapas del proceso de esporulación.

Otra estructura latente similar a la espora es el quiste; la diferencia radica en que la bacteria se envuelve a sí misma con una capa protectora.

#### 4.1.3 *PROTOZOARIOS*

Los protozoarios son organismos eucarióticos, con amplia variedad en forma y modo de vida. Generalmente son unicelulares, móviles y se clasifican de acuerdo con su morfología, particularmente por su modo de locomoción. Muchos protozoarios requieren de un huésped para poder vivir y completar su ciclo de vida. No todos los protozoarios se asocian con procesos de tratamiento de aguas residuales. Debido a su gran tamaño, los protozoarios se identifican fácilmente por observación en un microscopio con luz.

Se definen tres grupos importantes en lo que se refiere a procesos de tratamiento de aguas residuales.

- Flagelados
- Sarcodina
- Ciliados

#### 4.1.3.1 PROTOZOARIOS FLAGELADOS

Poseen uno o más flagelos, que son utilizados para locomoción y alimentación.

#### 4.1.3.2 SARCODINA

Posee seudópodos que utiliza para moverse y para alimentarse por medio de flujo protoplasmático. Tienen una gran diversidad: algunas carecen de estructura esquelética (amibas), mientras que otras han desarrollado conchas formadas con materiales de proteínas, sílice y carbonato de calcio.

#### 4.1.3.3 CILIADOS

Son los mayores en términos de número de especies con más de 7000. Por esto dan gran diversidad a los lodos activados. Se caracterizan por los cilios que aparecen sobre la superficie de la célula que les sirven de locomoción. Además, los cilios distribuyen el alimento alrededor de lo equivalente a una boca llamada citosoma. De este modo se autoayuda formando corrientes con los flagelos para introducir el alimento por el citosoma. Se dividen en cuatro grandes grupos:

- Ciliados libres (ciliados uniformes de nado libre)
- Ciliados reptantes (cuerpo aplanado, cilios locomotores)
- Ciliados fijos (ciliados fijos en forma de campana)
- Suctoria (ciliados a temprana edad)

Los primeros se refieren a protozoarios de nado libre, los cuales poseen cilios uniformes en sus cuerpos (paramecium).

Los segundos tienen un cuerpo aplanado con cilios locomotores encontrados por debajo del cuerpo; el cilio también les sirve para alimentarse, provocando corrientes hacia el citosoma.

El tercer grupo se reconoce inmediatamente por su cuerpo en forma de campana invertida que está montado en un tallo. El otro extremo del tallo se fija a un material particulado, tal como un flóculo de lodos, y sirve para anclar al protozoario. En ciertas especies este tallo es contráctil. El amplio final de la campana sirve como una apertura oral donde se tienen cilios que ayudan a atrapar alimento. Los ejemplos típicos de este grupo son la *Vorticella* y la *Opercularia*, ampliamente conocidas en el proceso de lodos activados.

Finalmente el cuarto grupo se refiere a protozoarios que solo son ciliados a temprana edad donde los cilios sirven para dispersarse de sus congéneres. Poco después se pierden los cilios y se desarrollan un tallo y tentáculos para alimentarse. El tallo no es contráctil y atrapa materia particulada, mientras que los tentáculos son capaces de capturar el

alimento, desmenuzándolo y succionándolo para formar vacuolas. De la Foto 4.1 a la Foto 4.4 se muestran protozoarios y en la Figura 4.2 una forma de alimentación de los protozoarios.



Foto 4.1 Principales formas de protozoarios en procesos de tratamiento de aguas residuales

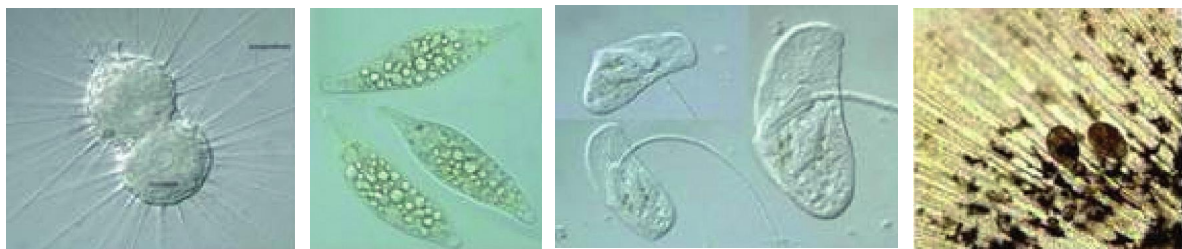


Foto 4.2 Ciliados comunes en procesos aerobios de tratamiento



Foto 4.3 Ciliados “peritrichia” en procesos aerobios de tratamiento



Foto 4.4 Ciliados *Vorticella* y *Suctorina*

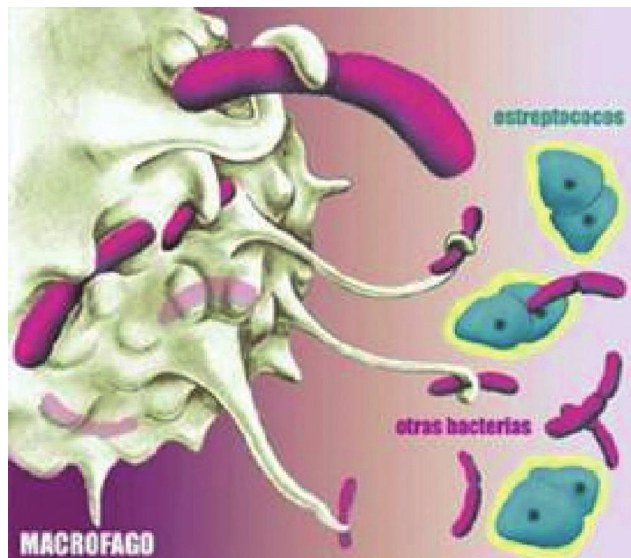


Figura 4.2 Alimentación de protozoarios (Fagocitosis)

#### 4.1.4 ROTÍFEROS

Realizan importantes funciones benéficas en la estabilización de desechos orgánicos. Estimulan la actividad y descomposición de la microflora, ayudan a la recirculación de nutrientes minerales. Son diferentes a los protozoarios; se encuentran, pocas veces en gran número en procesos de tratamiento de agua. Solamente en sistemas de aeración extendida son la forma animal predominante.

Los rotíferos usan mayores cantidades de flóculos de lodos activados que los protozoarios y pueden sobrevivir aun después de que las bacterias de nado libre han sido depredadas por los protozoarios.

Se encuentran en todos los hábitats acuáticos y son la forma más simple y más pequeña de los macro invertebrados. Son un pequeño grupo de organismos con cerca de 2000 especies identificadas. La vibración de sus cilios semeja ruedas que giran, de ahí su nombre, rotíferos.

Se dividen en dos clases; los que poseen una gónada son monogónadas, y los que tienen dos, digónadas (Foto 4.5); su tamaño varía de 40 a 500  $\mu\text{m}$ ; su vida promedio es de 6 a 45 días.

La mayor parte de los rotíferos son incoloros aunque cuando ingieren alimento dan la impresión de tener color. Poseen tres distintas regiones del cuerpo: la cabeza, el tronco y los pies.





Foto 4.5 Rotíferos típicos monogónada y digónada

Algunos rotíferos se alimentan de bacterias, detritus y protozoarios; otros de fitoplancton o algas. Las variaciones en concentración y características del agua cruda se reflejan en el número y tipo de rotíferos en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

La mayoría de las digónadas nadan por la acción de las corrientes creadas por los cilios; las más viejas se desplazan lentamente, esto es observado frecuentemente en sistemas de lodos activados. En este proceso, consumen grandes cantidades de bacterias, ayudando a esta población a mantenerse saludable y activa. Además, ayudan a disminuir la turbidez del efluente al alimentarse de bacterias que no forman flóculos.

Los rotíferos ayudan a la formación de flóculos, mediante su forma de alimentarse, pues dejan huecos por donde puede existir mejor transferencia de oxígeno; además en procesos aerobios, el gran consumo de bacterias y sólidos ayuda a disminuir la DBO. También viven en las paredes de los tanques de aeración, evitando el excesivo crecimiento de la película biológica que se forma en las paredes.

Una planta de lodos activados bien operada normalmente tiene predominio de un tipo de rotífero. Cada modificación al proceso también tendrá su propio grupo de rotíferos, así el operador posee un medio rápido de saber si la operación es correcta; esto se logra mediante la práctica en la observación microscópica.

Los rotíferos son estrictamente aerobios y se encuentran normalmente en ambientes con poca contaminación y con al menos 2 mg/L de oxígeno; algunos rotíferos como el género *Brachionus* puede encontrarse solamente en ambientes de agua limpia; otros toleran ambientes semilimpios y pocos toleran alta contaminación. La Foto 4.6 muestra algunos rotíferos.

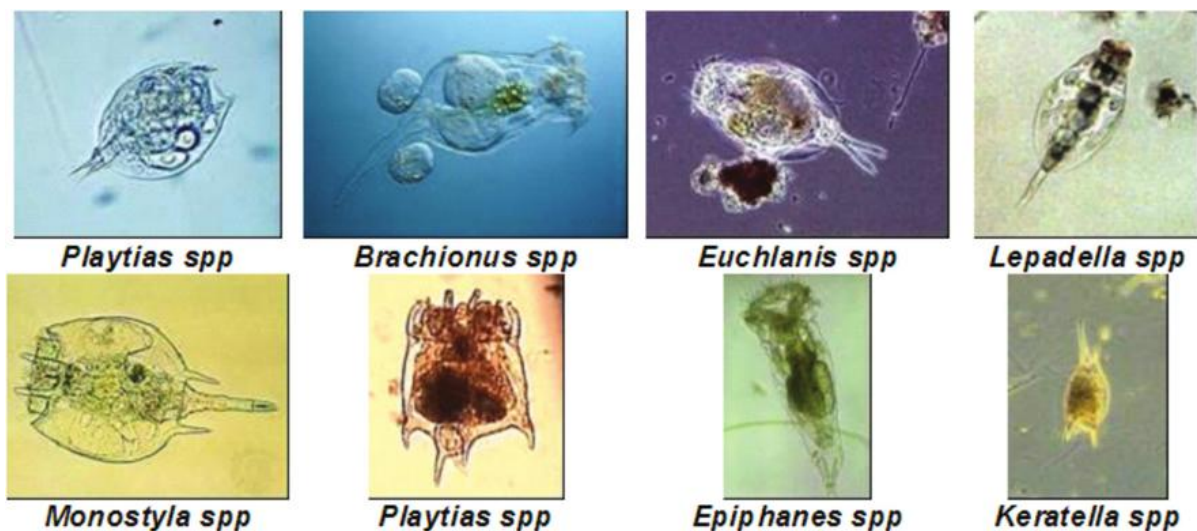


Foto 4.6 Rotíferos comunes en tratamiento de aguas residuales

#### 4.1.5 NEMÁTODOS

Los nemátodos de vida libre son macroinvertebrados terrestres (animales sin columna vertebral ni huesos), son capaces de vivir en hábitats de agua limpia. Debido a que los suelos están infestados con nemátodos, estos macroinvertebrados pueden introducirse fácilmente a las plantas de tratamiento de aguas residuales y estar presentes en procesos aerobios en gran número y con alta diversidad.

Incluyen una gran variedad de gusanos; son microscópicos y su tamaño varía de 0.5 a 3.00 mm de longitud, por 0.02 a 0.05 mm de ancho. La mayoría de las especies son similares en apariencia.

Los nemátodos son gusanos no segmentados, aunque aparentemente poseen segmentos debido al espesor de la cutícula de la epidermis. Tienen cuerpo cilíndrico que se adelgaza en los extremos; la boca y labios se localizan en el extremo anterior y poseen esófago y tracto digestivo, así como sistemas muscular, nervioso y reproductivo.

La presencia de nemátodos en aguas limpias o aguas residuales se origina en las corrientes superficiales que llegan a los cuerpos de agua y alcantarillados. Viven en ambientes aerobios donde existe abundancia de alimento. Su dieta se integra de algas, plantas acuáticas, bacterias, materia orgánica en descomposición, protozoarios, rotíferos y otros nemátodos. La boca es, capaz de morder, triturar, rasgar y despedazar las partículas de alimento.

Los nemátodos encontrados en plantas de tratamiento de aguas residuales se clasifican en dos grandes familias: *Diplogasteroidea* y *Rhabditoidea*; las diferencias físicas que se pueden observar en la Figura 4.3, son básicamente la forma de la boca, esófago y labios, así como los extremos (grueso o delgado).

La identificación de nemátodos se basa en reconocer sus características anatómicas, como la forma de la boca, labios, cutícula y extremos; la identificación se hace por medio de comparaciones con ilustraciones en libros especializados. Los efluentes de las plantas muestran una gran cantidad de nemátodos, particularmente los de proceso de lodos activados debido a su movilidad y resistencia a la cloración; generalmente el número de nemátodos encontrado en lodos activados es mucho menor comparado con el de filtros rociadores.

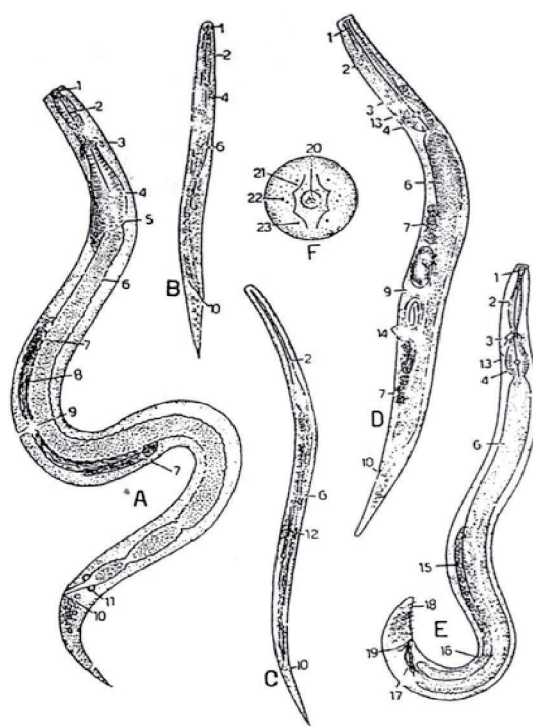
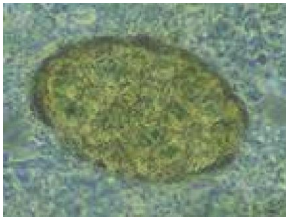
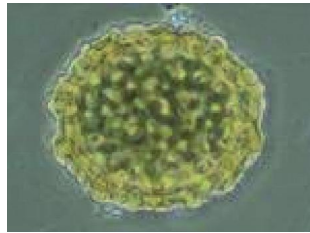


Figura 4.3 Estructura de nemátodos y diferencia entre las dos familias principales de nemátodos

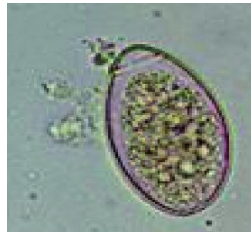
Los nemátodos encontrados en lodos activados generalmente están adheridos al flóculo su número es pequeño. El ambiente turbulento del proceso de lodos activados no da facilidades para la reproducción sexual. El ciclo de vida de la mayoría de los nemátodos de vida libre es mayor que la edad de lodos de casi todos los procesos de lodos activados; esto impide en muchos casos que las hembras desoven para que los huevecillos puedan ser recirculados. Los factores que afectan la población de nemátodos son: concentración de oxígeno disuelto, temperatura, concentración de DBO, hongos. La Foto 4.7 muestra huevos de nemátodos patógenos como *Ascaris lumbricoides* y otros.



*Ascaris lumbricoides*  
fertil



*Ascaris lumbricoides*  
infertil



*Diphyllocephalus*  
*latus*



*Enterobius vermicularis*



*Fasciola hepática*



*Heterophyes*  
*heterophyes*



*Hymenolepis*  
*diminuta*



*Hymenolepis nana*



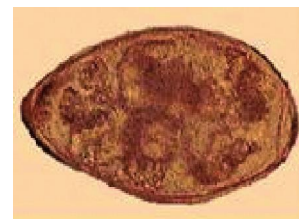
*Metagonimus*  
*yokogawai*



*Necator americanus*



*Opisthorchis*  
*sinensis*



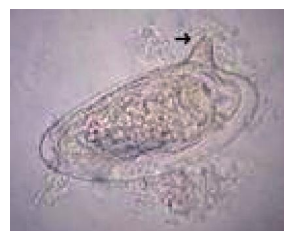
*Paragonimus*  
*westermani*



*Schistosoma*  
*haematobium*



*Schistosoma*  
*japonicum*



*Schistosoma*  
*mansoni*



*Taenia sp*

Foto 4.7 Huevos de helmintos



#### 4.1.6 HONGOS

Tienen poca importancia en los procesos de tratamiento de aguas residuales por lodos activados, sin embargo se llegan a encontrar esporas de hongos atrapados en los flóculos y pueden ser causantes de enfermedades por lo que su interés es únicamente sanitario.

La mayor parte de los hongos aislados de las aguas residuales están asociados con enfermedades de personas con baja resistencia a las infecciones. Poco menos de 50 especies de todos los hongos son capaces de causar enfermedades al hombre. La mayor parte de los hongos patógenos afectan solamente la piel, pelo y uñas (superficialmente); algunos pueden infectar cualquier parte del cuerpo (micosis sistémica). La *aspergilosis* la causa el *Aspergillus fumigatus*; afecta al oído, conductos nasales, pulmones y piel; la infección puede clínicamente referirse como tuberculosis. El composteo de lodos es la mayor fuente de infección potencial para el personal de aguas residuales.

La *Candida albicans*, una levadura, produce infecciones pulmonares, bronquitis, vaginitis, uretritis e infecciones superficiales de la piel y uñas. También, involucra las infecciones de membranas mucosas de la boca. La adecuada higiene personal reduce el riesgo de adquirir este patógeno.

#### 4.2 DINÁMICA DE LA POBLACIÓN

El contenido de un reactor de lodos activados se integra de una masa o flóculos aerados, rodeada del agua residual influente o licor mezclado. Los flóculos de lodos activados están formados por microorganismos, materia coloidal orgánica e inorgánica y partículas mayores, que se mantienen juntas en una masa orgánica compleja. En la Figura 4.4, se muestra un ejemplo de la interacción existente en un flóculo.



Figura 4.4 Interacción en un flóculo



Los flóculos pueden estar formados de componentes biológicos o no biológicos. Los componentes biológicos consisten de una amplia variedad de bacterias, hongos, protozoarios y algunos metazoarios. Los componentes no biológicos los constituyen partículas inorgánicas y orgánicas.

Un gran número de protozoarios se fijan al flóculo con sus tallos; los ciliados libres y flagelados se encuentran en el licor mezclado o en la masa orgánica. Algunos hongos son observados ocasionalmente y son de poca importancia en el proceso de tratamiento. Los bacteriófagos se identifican en grandes cantidades (tan altas como  $2 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$ ). Y comúnmente su único papel es la remoción de bacterias, incluyendo un gran número de especies patógenas.

La población microbiana en un reactor de lodos activados es altamente especializada con baja diversidad de especies, de los cuales las bacterias dominantes son bacilos Gram-negativo. Todas ellas son organismos heterótrofos con la excepción de las bacterias autótrofas del nitrógeno.

Los organismos heterótrofos son aquellos que requieren para su crecimiento un aporte continuo de compuestos orgánicos para la mayoría de las reacciones biosintéticas. Por otro lado, los autótrofos son capaces de obtener el carbono que requieren para las reacciones biosintéticas a partir de dióxido de carbono.

El objetivo principal de una planta de lodos activados es la remoción de DBO; esto lo realizan, casi exclusivamente las bacterias heterótrofas, sin embargo, muchos protozoarios son capaces de alimentarse saprófitamente. Las comunidades de población protozoaria reducida muestran remoción baja de DBO (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Calidad del agua tratada con o sin ciliados (protozoarios)

Parámetro analizado	Sin ciliados	Con ciliados
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	53 – 70	7 – 24
DQO (mg/L)	198 – 250	124 – 142
Nitrógeno orgánico (mg/L)	14 – 21	7 – 10
SS (mg/L)	86 – 118	26 – 34
Cuenta de bacterias viables $10^6/\text{mL}$	106 – 160	1 – 9

Las bacterias heterótrofas y los protozoarios saprófitos forman el nivel trófico inferior de la cadena alimenticia; y son fuente de alimento, de otros protozoarios y rotíferos.

El papel más importante de los protozoarios es que actúan como agentes limpiadores al alimentarse de bacterias de nado libre. Esta acción da como resultado un efluente con baja DBO y sólidos suspendidos; también ayudan a remover patógenos. Como el diámetro del flóculo biológico varía de 50 a 500  $\mu\text{m}$ , existe un gradiente de concentración

de DBO y de oxígeno del exterior del flóculo donde serán mayores, al interior del flóculo, donde tal vez no exista DBO residual ni oxígeno

Consecuentemente a medida que las bacterias se acercan al centro del flóculo, son depredadas como fuente de nutrientes.

Además de su papel para remover la DBO, los flóculos juegan otro importante papel en los tanques de sedimentación secundaria. Bajo las condiciones de régimen laminar tranquilidad del sedimentador, se forman flóculos grandes y compactos que sedimentan rápidamente y permiten alta concentración de sólidos en el fondo. Es importante purgar el sistema para reducir el manto de lodos en el sedimentador y permitir la recirculación con alta concentración.

El porqué flocculan los microorganismos y el mecanismo exacto de este fenómeno es desconocido; muchos modelos de diferente complejidad han sido propuestos; uno de los más atractivos es el modelo del esqueleto de filamentos, el cual supone que en el reactor, las bacterias filamentosas forman una red o esqueleto al que se fijan las bacterias que forman flóculos. Los protozoarios se fijan y colonizan el flóculo; existen evidencias que también ellos excretan una mucosa pegajosa que ayuda a formar un flóculo más fuerte.

La operación de plantas de lodos activados involucra la recirculación del lodo sedimentado; los microorganismos que sedimentan rápido y bien en el sedimentador, son regresados al tanque de aeración, permitiendo el rompimiento relativo del flóculo.

La Figura 4.5 muestra la diversidad de especies en un proceso de lodos activados y su relación con el funcionamiento del sistema.

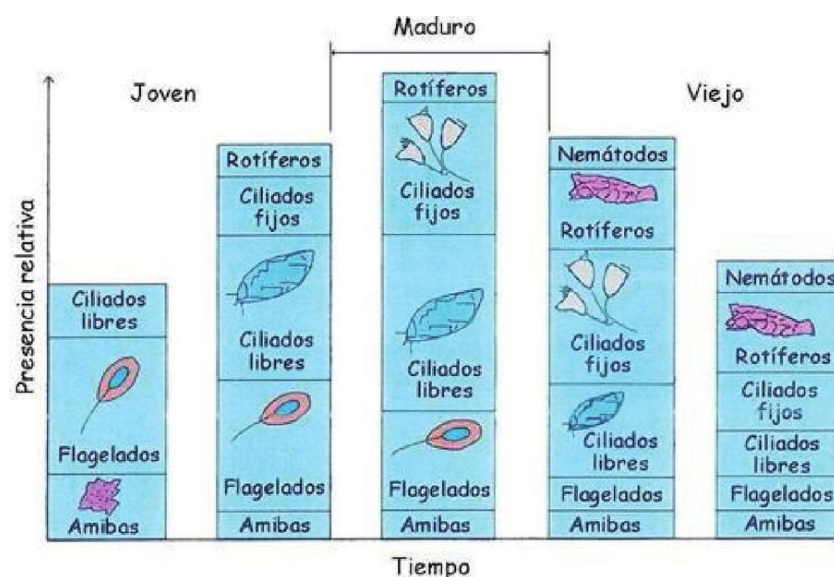


Figura 4.5 Diversidad de especies y parámetros en lodos activados

### 4.3 FORMACIÓN DE FLÓCULOS

La biofloculación es una agregación de partículas finamente suspendidas en el medio líquido de origen, la cual conduce a la formación de estructuras cuyas dimensiones y peso específico permiten su separación del medio líquido por decantación. Estas estructuras se denominan: flóculos (Figura 4.6)

El flóculo tiene un aspecto aglomerado y gelatinoso con dimensiones que van desde menos de 150  $\mu\text{m}$  hasta más de 500  $\mu\text{m}$ . Está constituido por sustancias principalmente orgánicas en estado coloidal y de numerosas poblaciones de microorganismos como parte de su biomasa activa que oscila entre 10 y 40% del peso seco total. Esta biomasa está representada generalmente por un 95% de bacterias y 5% de Protozoos y Metazoos.

Los microorganismos cumplen entonces dos funciones, una depurativa metabolizando la materia orgánica presente en el efluente a tratar y otra “constructiva” en el sentido de otorgarle la estructura a los flóculos, los cuales deben poder separarse por gravedad del agua depurada en el sedimentador final.

Los flóculos en un estado normal o de funcionamiento ideal de un sistema de tratamiento de lodos activados, presentan un tamaño relativamente grande, forma irregular y equilibrio entre las bacterias formadoras de flóculos y filamentosas. Estas últimas se encuentran principalmente al interior del flóculo y casi no se extienden más allá de sus límites externos. Los lodos activos son entonces agregados de partículas y colonias de bacterias aeróbicas los cuales forman estructuras microscópicas denominadas flóculos. Los flóculos se mantienen en un reactor aeróbico a partir de la agitación mecánica externa, la que a su vez renueva el contenido de oxígeno del medio líquido.

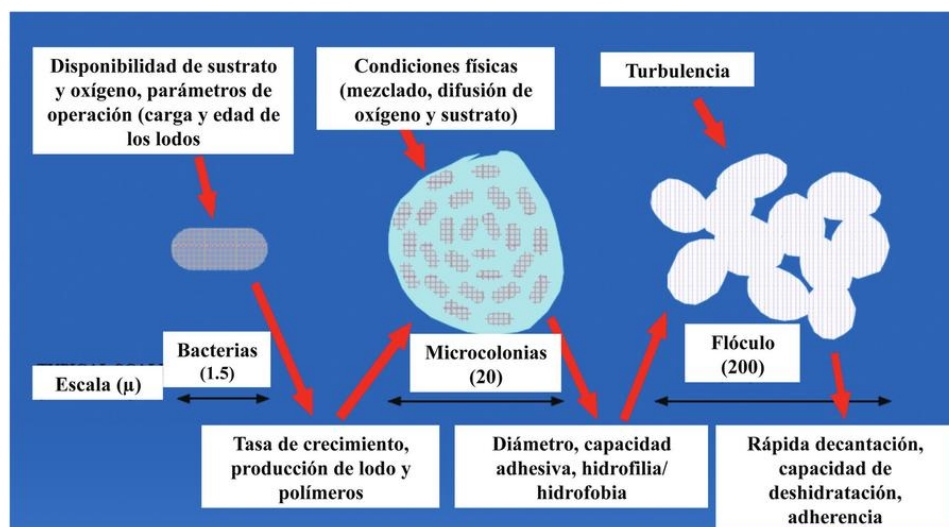


Figura 4.6 Formación de los flóculos

Las bacterias presentes en los flóculos o lodos activos oxidan la materia orgánica disuelta principalmente carbono, nitrógeno y fósforo. En el primer caso la eficiencia del sistema se evalúa en términos de remoción de DBO o demanda bioquímica de oxígeno. En el caso del nitrógeno mediante reacciones de oxidación y reducción se libera finalmente como nitrógeno gaseoso en un subsistema anóxico. Esta misma combinación de mecanismos aeróbicos-anaeróbicos es utilizada por las bacterias del fósforo las cuales lo asimilan eliminándolo del medio líquido. Como mencionamos anteriormente la función de la biomasa en un sistema de lodos activados es doble, por un lado depurar el líquido entrante en el sistema y por el otro construir los flóculos de modo que puedan separarse en el sedimentador secundario del agua residual tratada.

Los flóculos de lodo activado contienen partículas orgánicas, inorgánicas y bacterias. El tamaño de las partículas varía entre  $1\ \mu\text{m}$  y  $1000\ \mu\text{m}$ . Las células vivas del flóculo representan entre el 5 y el 20% del total de bacterias. Los microorganismos presentes en los flóculos son bacterias, hongos, protozoos y rotíferos.

En un proceso de tratamiento de aguas residuales por lodos activados, los factores principales que intervienen en la formación del flóculo y su sedimentación son: edad de los lodos, toxicidad (presencia de metales pesados y compuestos orgánicos), descargas de lodos, actividad abundante de los protozoarios ciliados, excesivo esfuerzo cortante, excesiva cantidad de tenso activos ó surfactantes. De manera reciente, se ha mostrado que la floculación resulta de la producción de una capa de polisacárido pegajoso, el cual hace que los organismos se adhieran; otros factores, tales como la superficie química y densidad del flóculo pueden influenciar fuertemente las propiedades de sedimentación. Además, la geometría del sistema y la forma en que el agua residual entra al reactor condicionan las características de floculación del lodo.

Este proceso comúnmente presenta inconvenientes operacionales que están relacionados con diferentes patologías de los flóculos. Como resultado se obtiene un progresivo deterioro de la calidad del líquido de descarga, aparición de grandes cantidades de espuma sobre la superficie del reactor o el sedimentador secundario, pérdida de flóculos en el sedimentador y dificultades en el manejo del sistema a partir de los inconvenientes relacionados con la imposibilidad de regular de forma constante el lodo de recirculación.

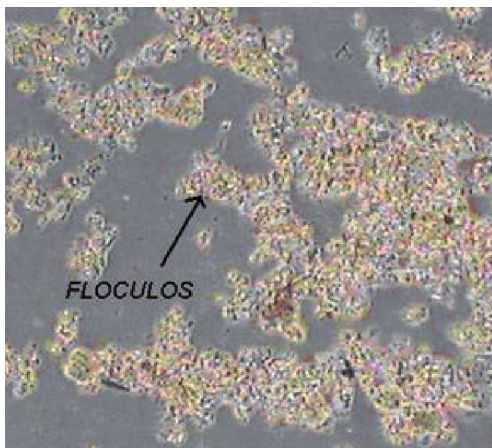
En la Tabla 4.2 se indican los fenómenos no deseados que generalmente aparecen en el reactor o en el sedimentador secundario. Se señalan las posibles causas y cómo el problema se manifiesta a nivel microscópico, y en la Foto 4.8 algunos tipos de flóculos.

Tabla 4.2 Patologías frecuentes en sistemas de lodos activados

Problema	Causas	Observación al microscopio
Efluente turbio, ausencia de flóculos sedimentables dispersos en el medio	Alto A/M, elevada temperatura de entrada, fase inicial del sistema, elevada DQO altamente biodegradable	Ausencia de flóculos, células dispersas en el medio líquido, no ocurre biofloculación
Pérdida permanente de pequeños flóculos con el efluente final, IVL bajo (<35 mg/L)	Excesiva turbulencia o tiempo de retención celular, elevado lodo mineralizado, baja A/M	Flóculos presentes muy pequeños, débiles, como cabeza de alfiler
Estrato de lodo espeso en la superficie del sedimentador	Surgimiento del lodo desde el fondo del sedimentador por desnitrificación, exceso de turbulencia, algas.	Flóculos ricos en burbujas de gas con o sin filamentos, espuma y barro de igual aspecto
Espuma sutil, blanquecina, inestable sobre la superficie del agua	Presencia de sustancias difícilmente biodegradables, tensoactivas	Ninguna influencia sobre las estructuras de los flóculos
Espuma espesa amarronada, estable principalmente en el tanque aerobio	Presencia de bacterias filamentosas u hongos actinomicetos. Formación de espuma	Espuma rica de Nocardia, Microthrix parvicella o Tipo 1863
Lodo de consistencia gelatinosa, IVL alto, espuma grisácea en el tanque aerobio, pérdida de flóculos con el efluente final	Aglomerado viscoso o no filamentoso, carencia de nutrientes y alto A/M	Flóculos ricos en formas Zoogloeales y presencia de polisacáridos exocelulares evidenciados con la prueba de tinta china. Presencia de Thauera sp.
IVL alto o muy alto (>150 mL/g) dificultad para separar fase líquida de sólida, inicio con un efluente limpio de excelente calidad hasta la pérdida masiva de flóculos. Lodo de recirculación poco concentrado	Aglomerado filamentoso, presencia de bacterias filamentosas en exceso, las causas varían en relación al tipo de organismo presente	Flóculos con crecimiento de filamentosos desde la periferia hacia el líquido circundante, puentes entre flóculos o filamentosos creciendo en el interior y definiendo la forma de los flóculos o en tramas que dejan espacios vacíos en su estructura

Resulta evidente que la identificación de las bacterias asociadas a un problema particular es uno de los puntos claves para entender y controlar el proceso de tratamiento. Las soluciones drásticas como la cloración, deben dejarse para casos específicos en donde se justifique la pérdida de eficiencia depurativa del sistema bajo estudio.





Flóculos “sanos”



Flóculos “contaminados” con *Haliscomenobacter hydrossis*.

Foto 4.8 Tipos de flóculos

Existen técnicas de reconocimiento de los microorganismos sencillas, hasta la aplicación de métodos de biología molecular mediante el empleo de sondas moleculares específicas. A partir del reconocimiento de las especies bacterianas que generan un inconveniente dado, se tomarán las medidas correctivas correspondientes. Esto puede implicar la instalación de un selector aeróbico, anóxico o anaeróbico, ajustes en los tiempos de retención celular del sistema y cambios en las condiciones ambientales que favorezcan una selección cinética o metabólica de las bacterias formadoras de flóculos.

#### 4.4 FORMACIÓN DE ESPUMA

La espuma consiste del atrapado de aire o burbujas de gas bajo la superficie de una capa delgada de sólidos o secreciones biológicas. La espuma microbiológica se produce en el tanque de aeración y de ahí es descargada a otras unidades de tratamiento, en donde el aire atrapado y las burbujas de gas se escapan y la espuma colapsa.

La espuma se forma cuando microorganismos con pared celular hidrofóbica atrapan burbujas de aire, mas el material surfactante que queda atrapado en la burbuja, estabilizándose estas burbujas para formar la espuma.

Dos bacterias del género, *Nocardia* y *Microthrix parvicella*, están asociadas con la presencia de espuma en los procesos de lodos activados.

La espuma es una masa de burbujas creadas cuando ciertos tipos de gas se dispersan en un líquido y la dispersión entonces se estabiliza. Si el agua contiene ciertos componentes, solubles o insolubles, entonces las dispersiones relativamente estables pueden ser formadas. La causa principal de la formación de espuma es la presencia de surfactante

dentro del sistema, aunque las proteínas, los polisacáridos y los derivados de la celulosa pueden también causarla. Los surfactantes contienen una sección hidrofóbica (agua que rechaza) y una sección hidrofílica (agua que atrae). Las moléculas del surfactante se arreglan en la interfase agua-aire, formando una capa monomolecular (es decir. una película fina). Esta capa es la condición previa para la formación de una espuma estable. Bajo condiciones normales las burbujas esféricas del gas se elevan a la superficie muy rápidamente. Sin embargo, si esta capa monomolecular está presente, rodea la burbuja que forma una laminilla estable de la espuma. Esta espuma estable se levanta más a fondo por medio del gas que se escapa y continuará propagando a menos que se contrarreste (Figura 4.7).

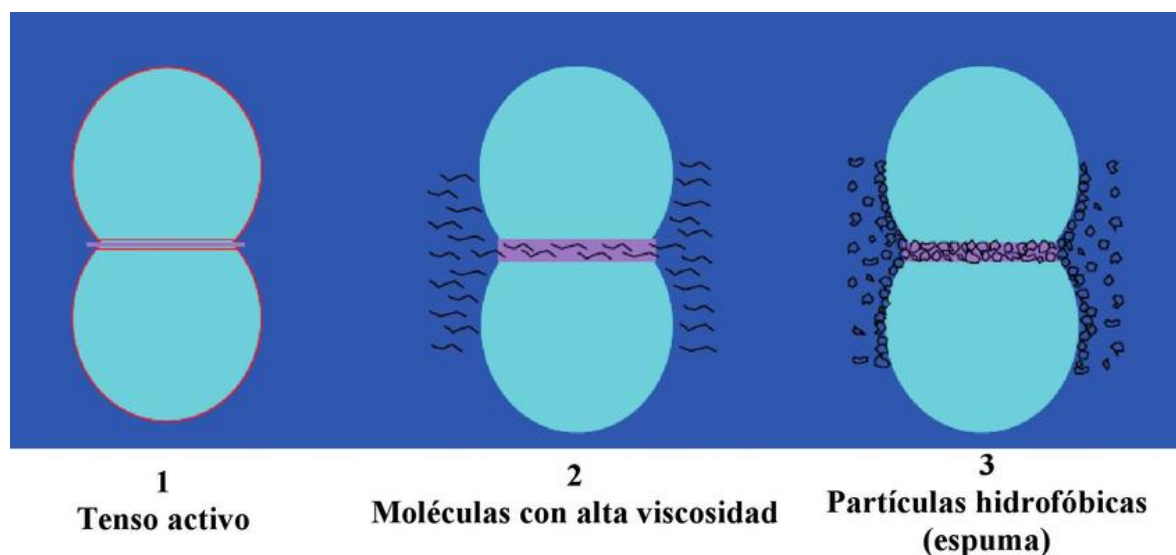


Figura 4.7 Diferentes caminos para la estabilización de la espuma

La presencia de espuma en el tanque de aeración es normal en el proceso de lodos activados. Normalmente, en una planta bien operada, del 25 al 10% de la superficie del tanque de aeración se encuentra cubierta por una capa de espuma liviana de 5 cm de espesor. Bajo ciertas condiciones de operación, la espuma puede volverse excesiva y afectar las operaciones.

Generalmente, se presentan tres tipos de espumas problemáticas: espumas blancas, espumas marrones y espumas muy oscuras o negras.

Si la espuma blanca y dura crece demasiado, puede ser transportada por el viento hacia otros sectores de la planta y producir condiciones peligrosas de trabajo.

Puede también crear una apariencia desagradable y malos olores, así como acarrear microorganismos patógenos.

Si crece una espuma grasosa o espesa esta es arrastrada por el flujo hacia los clarificadores y tenderá a acumularse detrás de los deflectores del efluente, creando problemas adicionales de limpieza. También puede tapar el separador de espumas.

#### 4.4.1 *ESPUMA BLANCA*

Indica un lodo joven y se encuentra normalmente tanto en plantas nuevas como en plantas sobrecargadas. Significa que la concentración de SSLM es muy baja y la A/M es muy alta. La espuma puede consistir en detergentes o proteínas que no pueden ser convertidas en alimento por las bacterias que crecen en el licor de mezcla a altas tasas de A/M.

Algunas causas probables de estas espumas son:

- a) Lodos activados no retornados al tanque de aeración.
- b) Bajo SSLM resultantes del proceso de puesta en marcha.
- c) Bajo SSLM para el residuo orgánico actual, causado tanto por el excesivo desecho de lodos o la alta carga orgánica del influente.
- d) La presencia de condiciones desfavorables, como sustancias tóxicas o inhibidoras, condiciones anormales de pH, insuficiencia de OD, deficiencia de nutrientes, o cambios estacionales de temperatura.
- e) Pérdida no intencional de biomasa en el clarificador secundario causado por:
  - Excesiva carga hidráulica
  - Trastornos biológicos.
  - Deficiencias mecánicas del sedimentador secundario
  - Distribución inapropiada de caudales o carga de sólidos entre múltiples clarificadores.
  - Distribución inapropiada del líquido residual y/o el flujo del retorno de lodos activados entre múltiples clarificadores.

Se pueden aplicar las siguientes medidas para corregir los problemas de espumas:

- a) Verificar que el lodo que retorna fluye hacia el tanque de aeración. Mantener tasas de retorno suficientes para mantener el manto de lodo en la parte mas baja del clarificador, preferentemente entre 0.3 y 0.9 m del fondo.
- b) Disminuir la purga de lodo activo por unos días para aumentar la concentración de SSLM y tiempo de residencia celular.
- c) Controlar los caudales de aire o la profundidad de los aeradores mecánicos para mantener las concentraciones de OD de 1.5 a 4 mg/L en el tanque de aeración.
- d) Controlar las válvulas de desagüe y cerrarlas si estuvieran abiertas por accidente.
- e) Considerar la siembra de lodos de otra planta que este operando correctamente.
- f) Modificar conducciones o estructuras como sea necesario para mantener una distribución apropiada de caudales a los múltiples tanques de aeración y sedimentadores.

#### 4.4.2 *ESPUMAS MARRONES*

Este tipo de espumas se asocia a plantas operando en rangos de baja carga. Las plantas diseñadas para nitrificar tendrán normalmente cantidades bajas o moderadas de espumas marrones. Las plantas con el microorganismo filamentosos *Nocardia* tendrán una espuma grasosa y marrón oscura que será transportada sobre la superficie del sedimentador.

Una espuma marrón espesa indica un lodo viejo. Algunas de las posibles causas de este problema son:

- a) El tanque de aeración esta siendo operado a baja A/M
- b) Crecimiento de una alta concentración de SSLM como resultado de un insuficiente desecho de lodos.
- c) Re-aeración de lodos

Las siguientes medidas podrán aplicarse para corregir problemas de espumas:

- a) Si la nitrificación no es necesaria, gradualmente incrementar la A/M y disminuir tiempo de residencia celular.
- b) Si aparecen filamentosos tratar de identificar la causa.

#### 4.4.3 *ESPUMAS MUY OSCURAS O NEGRAS*

La presencia de espumas muy oscuras o negras indica una aeración insuficiente, que resulta en condiciones anaeróbicas, o residuos industriales como tintas o tinturas. Las siguientes medidas podrán aplicarse para corregir estas espumas:

- a) Incrementar la aeración
- b) Investigar la fuente de los residuos para determinar la presencia de tintas
- c) Disminuir la concentración de SSLM

### 4.5 *USO DEL MICROSCOPIO*

El microscopio se usa rutinariamente para identificar y enumerar diferentes tipos de microorganismos presentes en las aguas residuales. Generalmente se emplean dos tipos de microscopios: el de alta capacidad de ampliación, compuesto de un sistema simple de lentes y el estereoscópico binocular con un sistema de lentes doble para alcanzar una imagen con capacidad de ampliación bastante menor (Figura 4.8).

El término microscopio compuesto, se aplica a microscopios con alta capacidad de ampliación cuyos valores son de 40x a 1000x. Tradicionalmente tiene un lente ocular llamado monocular. Actualmente se fabrican microscopios binoculares, o sea de dos lentes oculares, que ayudan a mejorar la visión, pero no son estereoscópicos.

El estereoscopio binocular da una baja capacidad de ampliación, de 8x a 40x. Debido a que se componen de dos sistemas de lentes, permiten que el usuario realmente tenga visión estereoscópica.

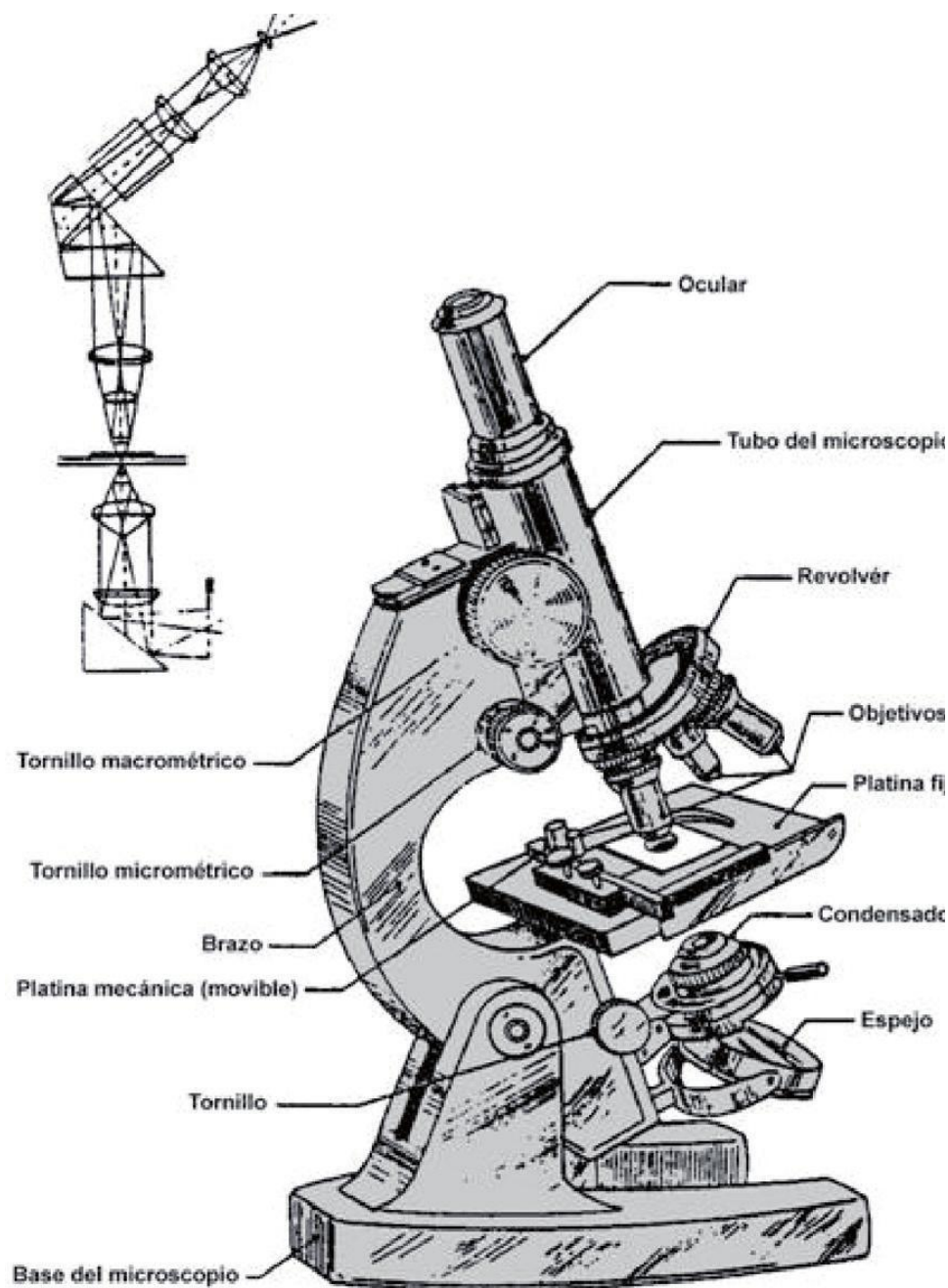


Figura 4.8 Microscopio



#### 4.5.1 MICROSCOPIO COMPUESTO

Todos los microscopios compuestos funcionan con un sistema de lentes que consiste en un lente objetivo reproductor de imagen, usualmente ampliada del objeto observado y un lente ocular que amplifica la imagen.

Los lentes objetivo y ocular se sitúan en los extremos opuestos del cuerpo del microscopio. La ampliación total del sistema es el producto de la capacidad del lente ocular (generalmente 10x) y la capacidad del lente objetivo (que puede variar).

El número de lentes objetivos de un microscopio va desde uno hasta cuatro, colocados en un sistema giratorio que permite cambiarlos según las necesidades. Una combinación típica de ampliación con cuatro lentes objetivos incluye 4x, 10x, 40x y 100x. Los valores están anotados a un costado del propio lente. La Tabla 4.3 muestra los tamaños de microorganismos y los lentes recomendados para su observación.

Tabla 4.3 Tamaños de microorganismos y lentes recomendados para su observación

Medidas	Organismos	Grupos taxonómicos y elementos constitutivos	Lentes	Microscopios	
500	Rotífero	Rotíferos	10 – 20x	MICROSCOPIO DE LUZ	MICROSCOPIO ELECTRÓNICO
400	Nemátodo	Nemátodos	10 – 20x		
300	Stylonchia sp	Protozoarios	40x		
200	Trachelocerca sp				
170	Tokophrya sp				
160	Epistylis sp				
150	Euplotes sp				
75	Volvox sp		40x		
65	Opercularia sp				
50	Pandorina sp				
40	Aspidisca sp				
20	Oikomonas sp	40 – 100x			
10		Células hemáticas	40 – 100x		
1	Bacterias	Bacterias	40 – 100x		

Las imágenes son enfocadas moviendo el sistema de lentes (el cuerpo del microscopio) con respecto a la muestra, aunque en algunos sistemas lo que se mueve es la platina, y los lentes son fijos. Después de hacer un enfoque rápido, se tiene una perilla de ajuste fino que mueve lentamente el sistema. La Foto 4.9 presenta microorganismos observados al microscopio.

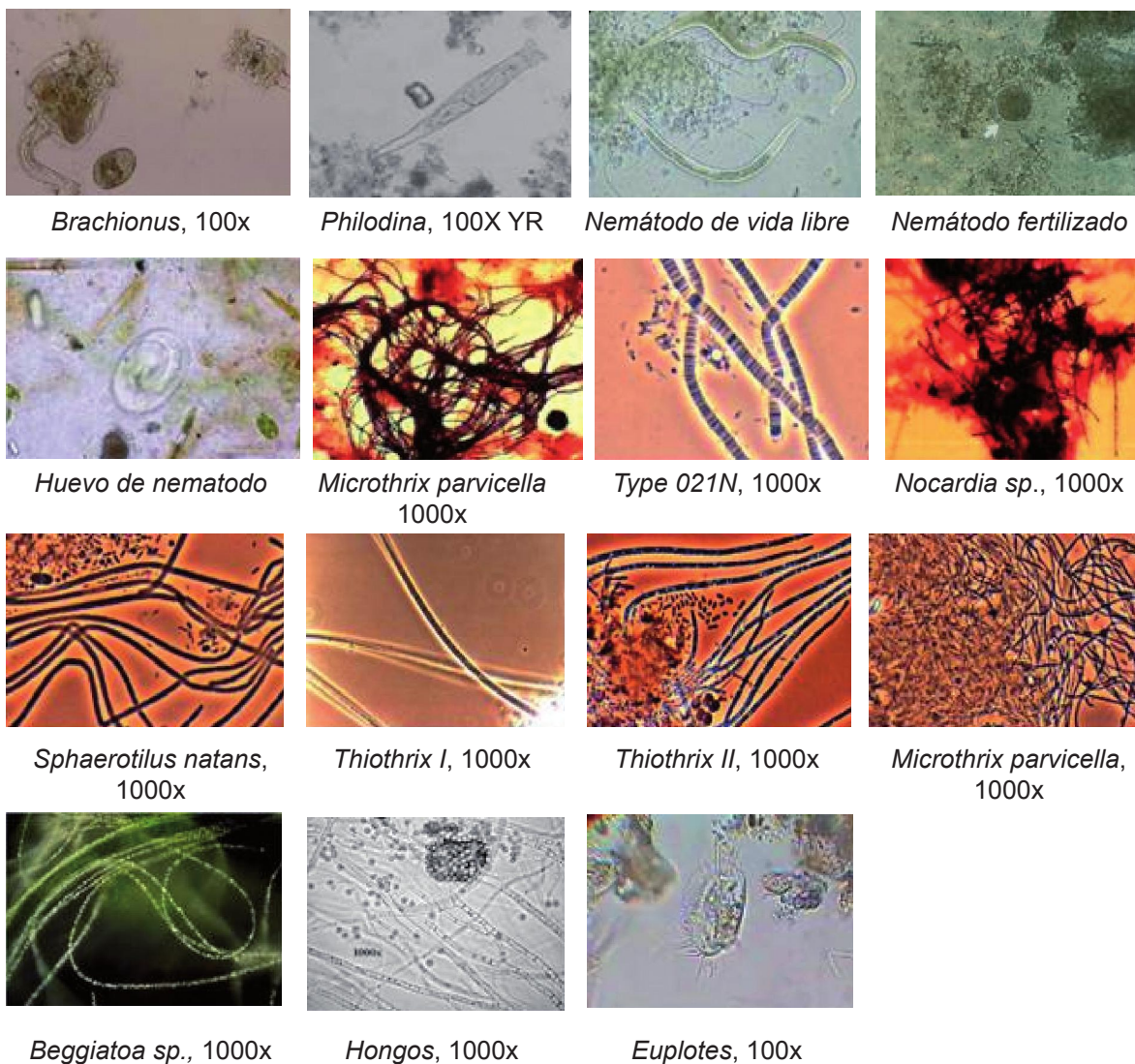


Foto 4.9 Microorganismos vistos al microscopio (continuación)

#### 4.5.2 PROCEDIMIENTOS PARA EL USO DEL MICROSCOPIO

Estos procedimientos son generales para microscopios compuestos; para uno en particular habrá que consultar los manuales correspondientes.

Limpie el ocular, los objetivos y el espejo; use papel o trapo adecuado; otros materiales de limpieza pueden dañar los lentes o dejar fibras que obstruyan la visión.

Gire el sistema para seleccionar el objetivo de menor capacidad (4x o 10x) y dejarlo en posición de uso; coloque el portaobjetos.

Si el microscopio tiene condensador, súbalo lo más posible.

Abra el diafragma totalmente y encienda la lámpara del microscopio. Si el microscopio tiene espejo y lámpara auxiliar, ajuste la lámpara y el espejo usando el lado plano hasta que se obtenga la iluminación deseada.

Ajuste el diafragma de disco o de iris al mayor tamaño.

Utilice la perilla de ajuste grueso para enfocar el objeto, bajando lo más cerca posible el lente al portaobjetos; observe por el ocular, y enfoque alejando el lente; una vez que aparece el espécimen utilice la perilla de ajuste fino.

Para una mejor imagen, ajuste la iluminación con la lámpara y el espejo, o con el sistema integrado de iluminación.

Algunas veces los objetos aparecen invertidos; mueva el portaobjetos de derecha a izquierda; estas inversiones son causadas por la óptica del microscopio.

Para observar mayores detalles cambie a un objeto de mayor capacidad de ampliación, pero siempre utilice el de menor capacidad primero. Después de encontrar y enfocar los objetos de interés, cambie al objetivo de mayor capacidad.

Para cambiar de objetivo, gire el disco de objetivo para seleccionar el que se desea, colocándolo en posición de uso; esto se hace sin observar por el ocular. No es necesario la distancia entre el nuevo lente y el portaobjetos, ya que la mayoría de los microscopios tienen lentes parafocales, así la imagen enfocada con el objetivo de baja capacidad permanece enfocada al cambiar de lente, requiriendo solo un ajuste fino.

Incrementa la intensidad de la luz cuando cambie a objetivos de mayor capacidad.

#### **4.5.3** *RECOMENDACIONES PARA SU MANEJO*

Algunos laboratoristas utilizan el microscopio durante largo tiempo; se recomienda colocar ambos ojos abiertos en el ocular (aún cuando se tenga un microscopio monocular), abiertos y fijos mientras se observe el espécimen. Para un adecuado uso del microscopio se deben seguir las siguientes recomendaciones:

Limpie los lentes del microscopio antes de usarlo.

Coloque la muestra evitando que toque los lentes objetivos. Enfoque siempre de abajo hacia arriba para evitar el contacto.

Siempre vea el microscopio (no el ocular) cuando cambie de objetivo. Si no existe suficiente espacio, no fuerce el objetivo; suba el brazo (o baje la platina); entonces coloque el objetivo en su lugar; con esto evitará el daño al microscopio.

Desarrolle el hábito de variar los niveles de iluminación para encontrar el nivel necesario en cada caso. Esto es importante para una mejor definición de los especímenes.

Asegúrese de mantener la platina y los portaobjetos siempre secos y limpios. Cuando termine, regrese el objetivo de menor capacidad a posición de uso, baje el brazo totalmente y guárdelo en su estuche para colocarlo en su lugar.

Cuando mueva el microscopio (antes de meterlo en su estuche), sosténgalo siempre en posición vertical; use siempre ambas manos, una sosteniendo la base y otra el cuerpo del microscopio.







## DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROCESO

*Luciano Sandoval Yoval, Erika Viviana Miranda Mandujano*

En la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales están involucrados varios tipos de equipos, tales como rejillas automáticas bombas de agua y lodos, agitadores, aeradores o compresores seguidos de difusores, de los cuales existe una infinita variedad y por tanto proveedores (Figura 5.1). Ahora bien, sin la ayuda de estos equipos sería muy difícil que el proceso realmente lograra su objetivo. A continuación se realiza una descripción de los diferentes equipos que se emplean y su importancia en el proceso.

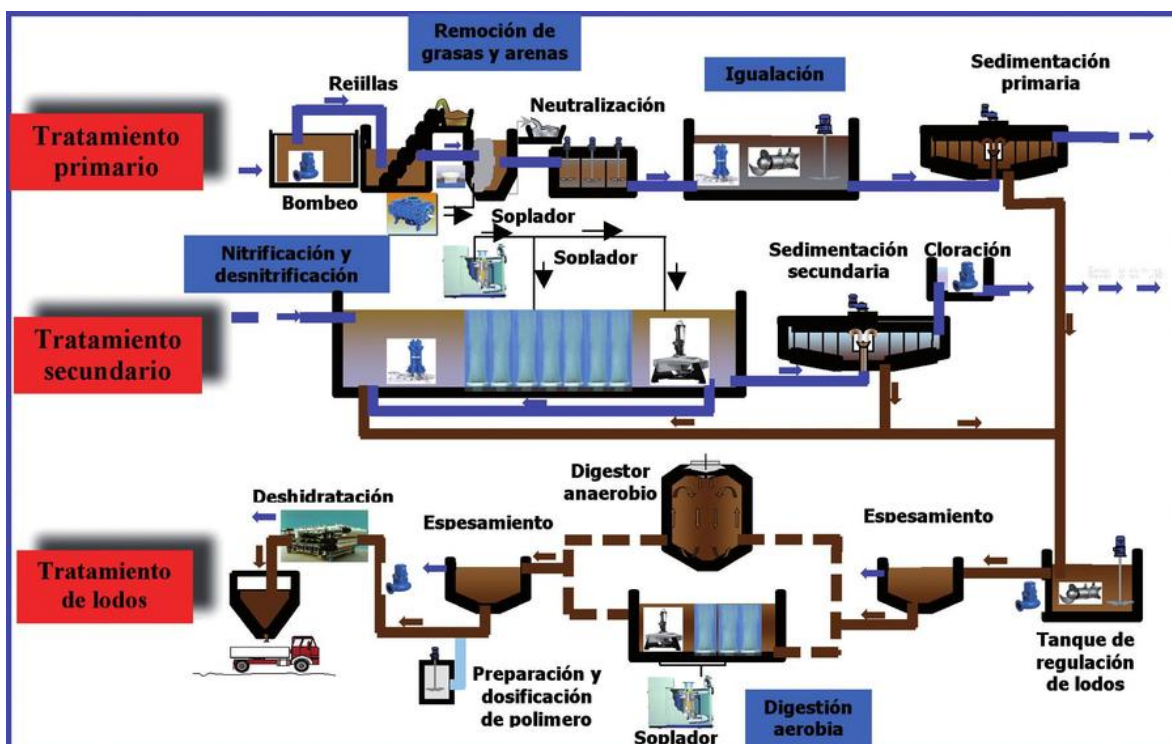


Figura 5.1 Principales equipos que se emplean en una PTAR

## 5.1 REJILLAS

Las rejillas son empleadas para separar material grueso del agua y de acuerdo con la forma de limpieza pueden ser manuales o mecánicas. Según el tamaño de la abertura se clasifican como rejillas gruesas o finas. Las gruesas son aquellas con aberturas iguales o mayores a 0.64 cm (1/4 pulgada), y las finas tienen una abertura menor a 0.64 cm.

En el tratamiento de aguas residuales se usan rejillas gruesas de barras de acero, para proteger bombas, válvulas, tuberías y otros equipos por donde circula el agua, de taponamientos o averías por sólidos inorgánicos grandes (basura) que puedan parar el sistema de tratamiento.

Las características principales de las rejillas se pueden ver en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Características de rejillas de barras

Características	Limpieza	
	Manual	Mecánica
Ancho de la barra	0.5 a 1.5 cm	0.5 a 1.5 cm
Profundidad de la barra	2.5 a 7.5 cm	2.5 a 7.5 cm
Abertura o espaciamiento	2.5 a 5.0 cm	1.5 a 7.5 cm
Pendiente con la vertical	30° a 45°	0° a 30°
Velocidad de acercamiento	0.3 a 0.6 m/s	0.6 a 1 m/s
Perdida de carga permisible	15 cm	15 cm

La longitud de las rejillas de limpieza manual (Foto 5.1) no debe ser mayor a 1.4 veces la altura del canal, esto con el fin de no poner en riesgo al operador cuando realice esta actividad.

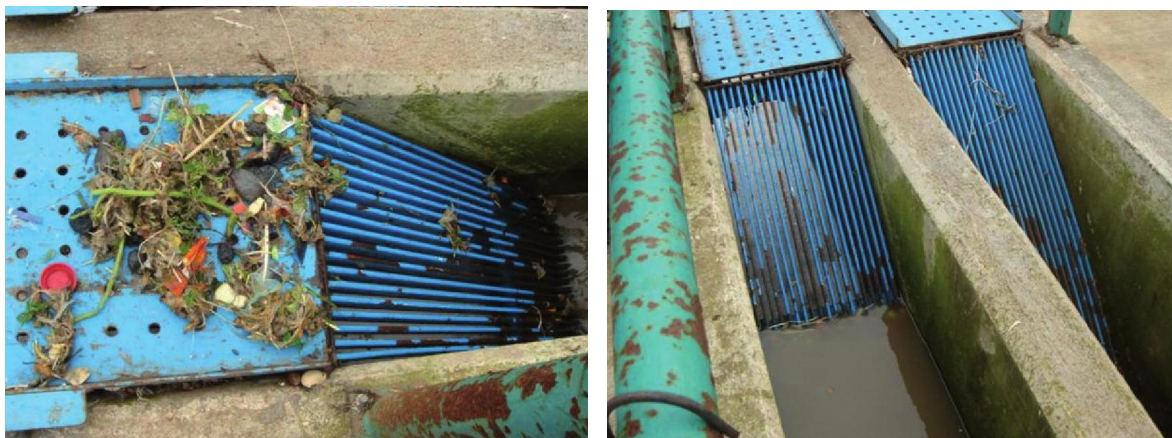


Foto 5.1 Rejilla de barras gruesas del limpieza manual.

Las rejillas finas tienen una abertura de 2 a 6 mm, aunque en algunos casos puede ser menor a los 2 mm estas sirven como tamiz filtrando el agua y reteniendo los sólidos, lo cuales pueden ser recibidos en contenedores (Foto 5.2) o en mallas más cerradas (Foto 5.3). La limpieza puede ser mecánica o manual.

Con el tiempo las rejillas pueden obstruirse, por lo que es recomendable se instalen con limpieza mecánica, de lo contrario se requiere una limpieza manual utilizando cepillos.

Este sistema es capaz de remover del 20 al 30% de los sólidos suspendidos totales y de incrementar el oxígeno disuelto del agua y también generan una menor pérdida de carga, sin embargo, requieren de un sistema de bombeo para su alimentación.



Foto 5.2 Arreglo de rejillas finas



Foto 5.3 Rejilla fina en operación (cortesía IMPEL)

## 5.2 BOMBAS

Las bombas son equipos indispensables en una planta de tratamiento, debido a que éstas son las que mueven el agua a través del sistema, así como los subproductos que se generan en las mismas, tales como los lodos biológicos. Además, son empleadas para dosificar ciertos reactivos de ser necesarios en algunas etapas del tratamiento. La Figura 5.2 muestra un esquema en donde se sugiere el tipo de bomba a emplearse de acuerdo al tipo de proceso y corriente a transportar.

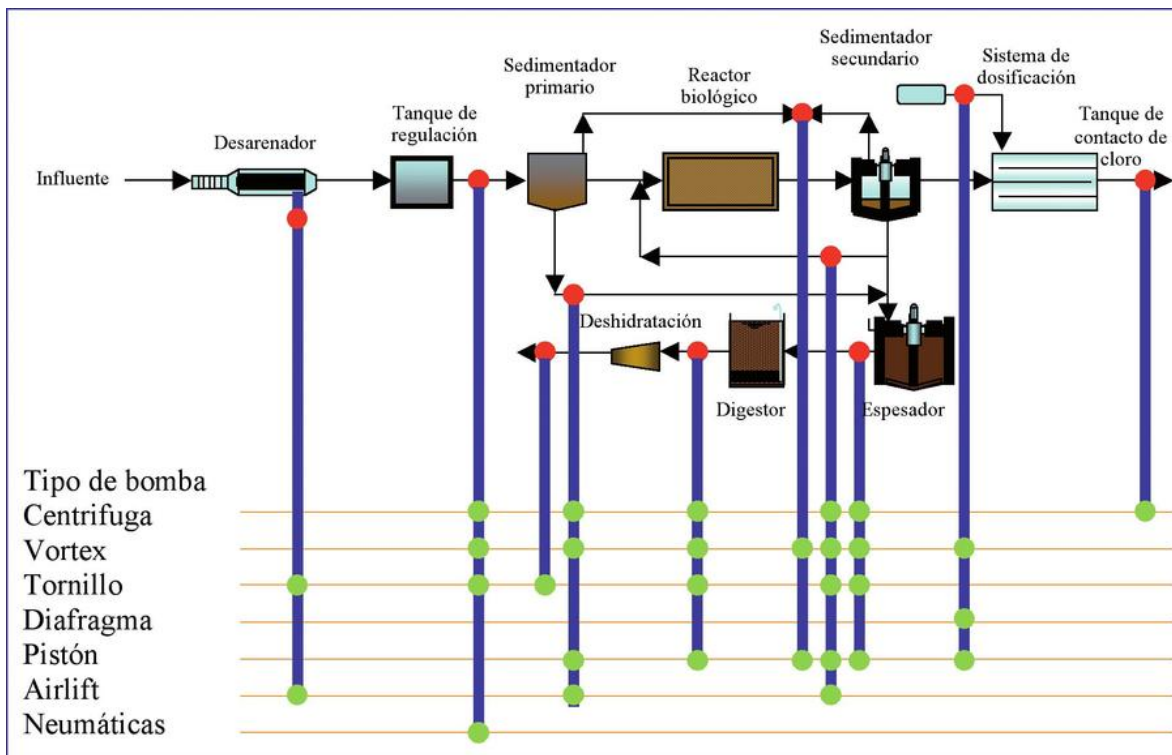


Figura 5.2 Recomendaciones de empleo por proceso y tipo de bomba  
(Adaptado de Syed, 1999)

### 5.2.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS

En las bombas centrífugas la energía se comunica al líquido por medio de álabes por movimiento rotacional, a diferencia de las bombas de desplazamiento volumétrico o positivo, de las rotativas (de engranajes, tornillos, lóbulos, levas, etc.) y alternativas de pistón, de vapor de acción directa o mecánicas.

Las ventajas principales de las bombas centrífugas son:

- Caudal constante
- Presión uniforme
- Sencillez de construcción
- Tamaño reducido
- Bajo mantenimiento
- Flexibilidad en la regulación del flujo

Uno de sus pocos inconvenientes es la necesidad de cebado previo al funcionamiento, ya que las bombas centrífugas, no son autoaspirantes.

Los principales tipos de bombas centrífugas son:

- Radiales, axiales y diagonales
- De impulsor abierto, semiabierto y cerrado
- Horizontales y verticales

#### 5.2.1.1 BOMBAS RADIALES, AXIALES Y DIAGONALES

En las bombas centrífugas radiales la corriente líquida se verifica en planos radiales, en las axiales en superficies cilíndricas alrededor del eje de rotación y en las diagonales radial y axialmente, denominándose también de flujo mixto.

La forma de los impulsores de flujo radial es curvada hacia atrás con respecto al sentido de giro, y con superficies de simple curvatura, siendo la generatriz paralela al eje de rotación; en los impulsores diagonales, son de doble curvatura y en los axiales tienen, un determinado perfil aerodinámico.

En la Figura 5.3 se pueden observar los campos de aplicación de los tres tipos de bombas centrífugas.



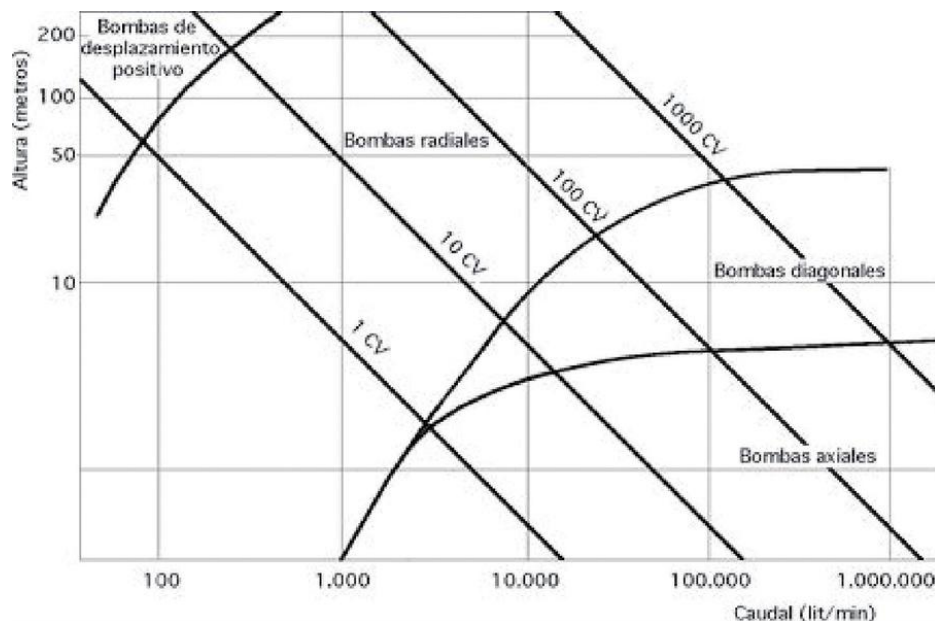


Figura 5.3 Campos de aplicación de los tres tipos de bombas centrífugas

#### 5.2.1.2 BOMBAS DE IMPULSOR ABIERTO, SEMIABIERTO Y CERRADO

Teniendo en cuenta su diseño mecánico o estructural, se pueden distinguir tres tipos de impulsores (Figura 5.4):

- Abiertos simples o doble succión
- Con una pared o disco lateral de apoyo (semiabiertos)
- Con ambas paredes laterales (cerrados).

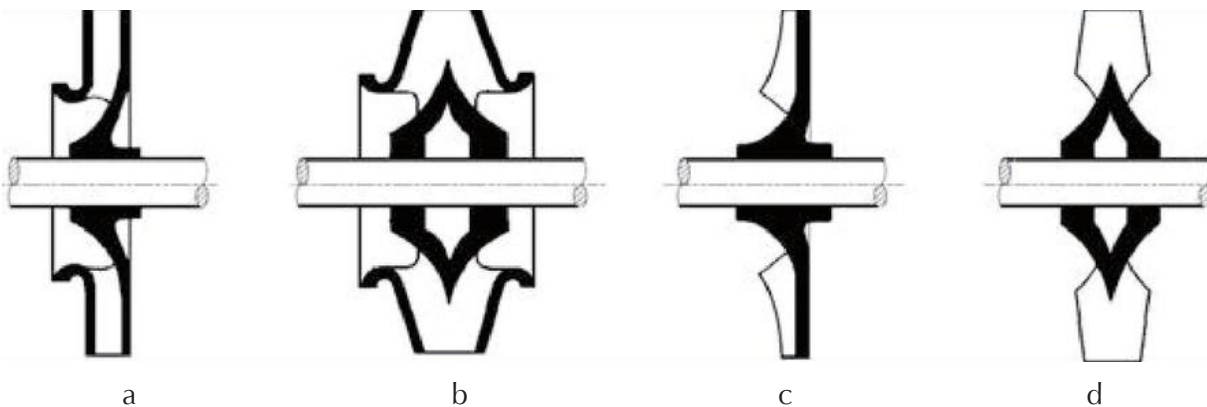


Figura 5.4 Tipos de impulsores: a) Cerrado. b) De doble succión. c) Semiabierto. d) Abierto

Los impulsores axiales, por su misma estructura, sólo pueden ser semiabiertos o cerrados, ya que sus álabes se pueden considerar como apoyados lateralmente en el eje de rotación, que hace las veces de cubo del impulsor, como si fuese la pared posterior de los radiales y diagonales.

#### a) Impulsores abiertos

Un impulsor abierto va desnudo y unido al eje de giro y se mueve entre dos paredes laterales fijas pertenecientes a la carcasa de la bomba, con tolerancias laterales lo más estrechas posibles para evitar fugas.

Esta construcción es mecánicamente débil, por el largo voladizo en que trabajan los álabes, por lo que estos impulsores disponen siempre de una fracción de pared posterior para dar a los álabes la rigidez necesaria (Figura 5.5).

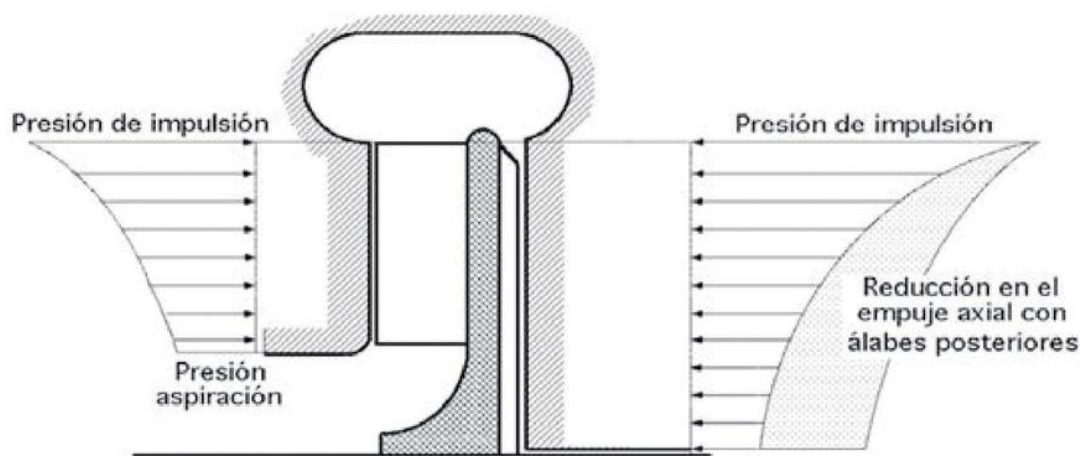


Figura 5.5 Empuje axial en impulsor abierto con álabes posteriores

Las ventajas del impulsor abierto:

- Menor tendencia a obstruirse, lo que los hace adecuado para líquidos sucios.
- Menor roce hidráulico del disco, al tener sólo una pared girando, generando un buen rendimiento.
- Una mayor accesibilidad de los álabes para el mecanizado, lo que permite conseguir mejores acabados.
- Una mayor facilidad de construcción, con modelos más sencillos, por lo que se puede utilizar una mayor variedad de materiales constructivos con un costo menor de fabricación.

Aunque al principio los impulsores se hacían abiertos, de doble succión, hoy en día han caído en desuso por dificultades de ajuste y sólo se fabrican los de succión simple.

### **b) Impulsores semiabiertos**

Los impulsores con una sola pared lateral, que siempre es la posterior, se emplean con cierta frecuencia, destacando las bombas de flujo mixto y todas las axiales. Al igual que en los abiertos, su buen rendimiento está basado en una tolerancia lateral muy estrecha, del orden de 0.3 mm, que evita fugas de la periferia al centro y en los canales del impulsor entre sí. Estas fugas aumentan cuando disminuye la viscosidad del líquido, por lo que si aumenta ésta, el caudal y la altura pueden aumentar, a pesar de las pérdidas por rozamiento.

### **c) Impulsores cerrados**

Los impulsores cerrados tienen los álabes colocados entre dos paredes laterales, anterior o de succión y posterior, (Figura 5.6). El estrecho margen de tolerancias existente para evitar fugas de retroceso entre la impulsión y la succión suele ser axial y está constituida por unas superficies anulares muy próximas, situadas alrededor del orificio de succión (oído del impulsor) y formadas por los aros de cierre, uno montado en la carcasa y el otro que gira montado en el impulsor. La ventaja es que los aros de cierre se pueden cambiar fácilmente cuando se desgastan, recuperando la tolerancia inicial, y evitando así fugas mayores.

Los impulsores cerrados pueden resistir mucho mejor cualquier flexión del eje, o contracciones y dilataciones mayores de las previstas, por lo que son más adecuados para servicios de altas temperaturas.

Tienen la desventaja de que sus canales son normalmente inaccesibles para cualquier tipo de mecanizado, lo que exige métodos constructivos especiales más difíciles que en los abiertos.

Hidráulicamente, el rozamiento de disco es doble, al tener el impulsor dos paredes, pero las pérdidas volumétricas son menores.

La posibilidad de obstrucción con líquidos sucios es mayor y para ello se diseñan impulsores especiales, canales lo más amplios posibles, pequeño número de álabes, 2 ó 3, y éstos con los bordes de entrada redondeados.

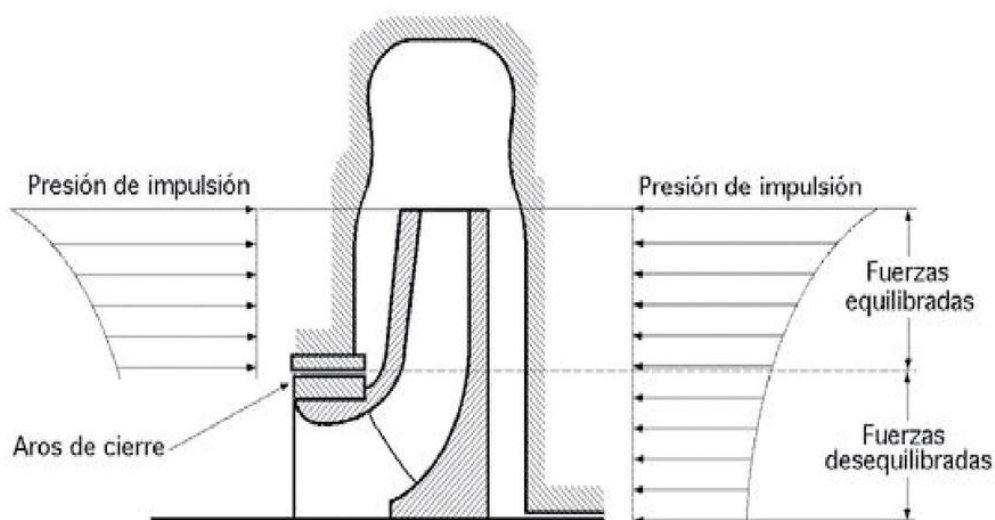


Figura 5.6 Empuje axial en impulsor cerrado

### 5.2.1.3 BOMBAS HORIZONTALES Y VERTICALES

El eje de rotación de una bomba puede ser horizontal o vertical, (rara vez inclinado). De esta disposición se derivan diferencias estructurales en la construcción de la bomba que a veces son importantes, por lo que también las aplicaciones de los dos tipos de construcción suelen ser, a menudo, distintas y bien definidas.

#### a) Bombas horizontales

La disposición del eje de giro horizontal presupone que la bomba y el motor se hallan a la misma altura; éste tipo de bombas se utilizan para funcionamiento en seco, exterior al líquido bombeado que llega a la bomba por medio de una tubería de succión.

Las bombas centrífugas, sin embargo, no deben rodar en seco, ya que necesitan del líquido bombeado como lubricante entre aros rozantes e impulsor, y entre empaquetadura y eje.

Como no son autoaspirantes requieren, antes de su puesta en marcha, el estar cebadas; esto no es fácil de conseguir si la bomba no trabaja en carga, estando por encima del nivel del líquido, que es el caso más corriente con bombas horizontales, siendo a menudo necesarias las válvulas de pie, (succión), y los distintos sistemas de cebado.

Como ventajas específicas se puede decir que las bombas horizontales, (excepto para grandes tamaños), son de construcción más barata que las verticales y, especialmente, su mantenimiento y conservación es mucho más sencillo y económico; el desmontaje de la bomba se suele hacer sin necesidad de mover el motor y al igual que en las de cámara partida, sin tocar siquiera las conexiones de succión e impulsión.

## **b) Bombas verticales**

Las bombas con eje de giro en posición vertical tienen, casi siempre, el motor a un nivel superior al de la bomba, por lo que es posible, al contrario que en las horizontales, que la bomba trabaje rodeada por el líquido a bombear, estando, sin embargo, el motor por encima de éste.

### *- Bombas verticales de funcionamiento en seco*

En las bombas verticales no sumergidas, el motor puede estar inmediatamente sobre la bomba, o muy por encima de ésta. El elevarlo responde a la necesidad de protegerlo de una posible inundación o para hacerlo más accesible si, por ejemplo, la bomba trabaja en un pozo.

El eje alargado puede ser rígido o flexible por medio de juntas universales, lo que simplifica el problema del alineamiento. Para bombas de gran caudal, la construcción vertical resulta en general más barata que la horizontal.

La ventaja de las bombas verticales, es que requieren muy poco espacio horizontal, por lo que se emplean normalmente en aplicaciones marinas, para aguas sucias, drenajes, irrigación, circulación de condensadores, etc.

### *- Bombas verticales sumergidas*

En las bombas centrífugas se elimina el inconveniente del cebado, por lo que el impulsor se halla continuamente, aún parado rodeado por el líquido a impulsar y, por lo tanto, la bomba está en disposición de funcionar en cualquier momento, por lo que solo se requiere de la puesta en marcha del motor.

La succión se hace a 2 ó 3 veces el diámetro del orificio de ésta, con respecto al nivel libre del líquido. Si esta profundidad es menor de lo debido, se pueden crear en la superficie vórtices o remolinos por cuyo centro se introduce aire en la bomba, con la consiguiente pérdida de caudal y deficiente funcionamiento.

Las bombas sumergidas tienen la ventaja de ocupar un espacio horizontal mínimo, sólo el necesario para acomodar el motor vertical y la impulsión, siendo incluso ésta a veces subterránea. Las ventajas hidráulicas son evidentes al desaparecer todos los problemas de succión que constituyen el principal inconveniente en el funcionamiento de las bombas centrífugas.

Desde un punto de vista mecánico, esta disposición presenta grandes inconvenientes con respecto a la horizontal. Las bombas son inicialmente más caras y su mantenimiento mucho más elevado, ya que cualquier reparación exige el desmontaje de la bomba para izarla a la superficie.



El eje alargado, somete a los cojinetes a un trabajo duro que sobre todo, si están lubricados por agua o líquidos sin grandes propiedades lubricantes, hace que su vida sea corta e imprevisible. Los tipos más importantes de bombas verticales sumergidas son de turbina o de pozo profundo y las de hélice.

## 5.2.2 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

### 5.2.2.1 BOMBAS VOLUMÉTRICAS

En la bomba de desplazamiento se realiza el desalojo periódico del líquido con un aumento de presión, mediante un dispositivo de desplazamiento (pistón, engranaje, etc.), con unos espacios que comunican, periódicamente, la cavidad de recepción del líquido o cámara de succión, con la cavidad de descarga o cámara de impulsión, pudiendo tener una o varias cámaras de trabajo.

El paso del líquido por la bomba volumétrica, a diferencia del paso por los álabes de una bomba centrífuga, es siempre más o menos irregular, por lo que en general, el caudal se considerará como el valor medio del caudal impulsado.

La cavidad de succión tiene que estar, siempre, herméticamente aislada de la descarga o impulsión; a veces se puede admitir la existencia de pequeñas filtraciones de líquido, aunque en proporciones muy pequeñas en relación al caudal de la bomba.

### 5.2.2.2 BOMBAS DE ÉMBOLO

En las bombas de émbolo el líquido es desalojado de las cámaras de trabajo por el movimiento alternativo de un pistón, mediante un mecanismo biela-manivela.

En las bombas de émbolo más usuales existen válvulas de succión y de impulsión que regulan el movimiento del líquido a través de la cámara de trabajo que, así mientras se llena, la válvula de succión permanece abierta y la de impulsión cerrada, invirtiéndose la posición de las válvulas durante el desalojo o impulsión del líquido; estas válvulas sólo se abren por la acción del gradiente de presiones, y se cierran por su propio peso o por la acción de algún mecanismo con muelle. Según el número de cámaras de trabajo se dividen en bombas de simple efecto,  $z = 1$ , y de doble efecto,  $z = 2$ .

En la bomba de simple efecto, el líquido se impulsa por una media vuelta de la manivela, y en la segunda media vuelta, el líquido se succiona, existiendo en consecuencia una gran irregularidad en el suministro (Figura 5.7).

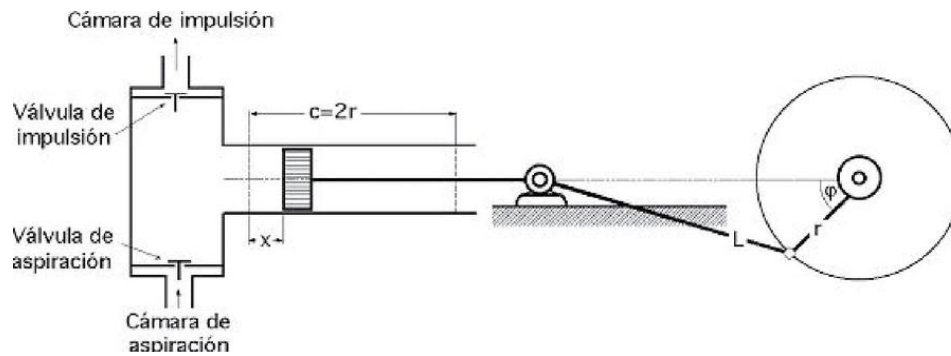


Figura 5.7 Esquema de una bomba de émbolo de simple efecto

Para la bomba de doble efecto, (Figura 5.8), la irregularidad es menor que para el caso de simple efecto, pero aún así es demasiado grande, por cuanto la presión del líquido junto al émbolo varía fuertemente debido a la corriente irregular en las tuberías.

Durante el movimiento acelerado del émbolo, y en consecuencia, del líquido en la tubería de succión, tiene lugar una caída de presión junto al émbolo que puede provocar cavitación, e incluso, separación del líquido de la superficie del émbolo, consumiéndose una potencia suplementaria en el aumento periódico de las pérdidas de carga por rozamiento del líquido contenido en las tuberías de succión e impulsión.

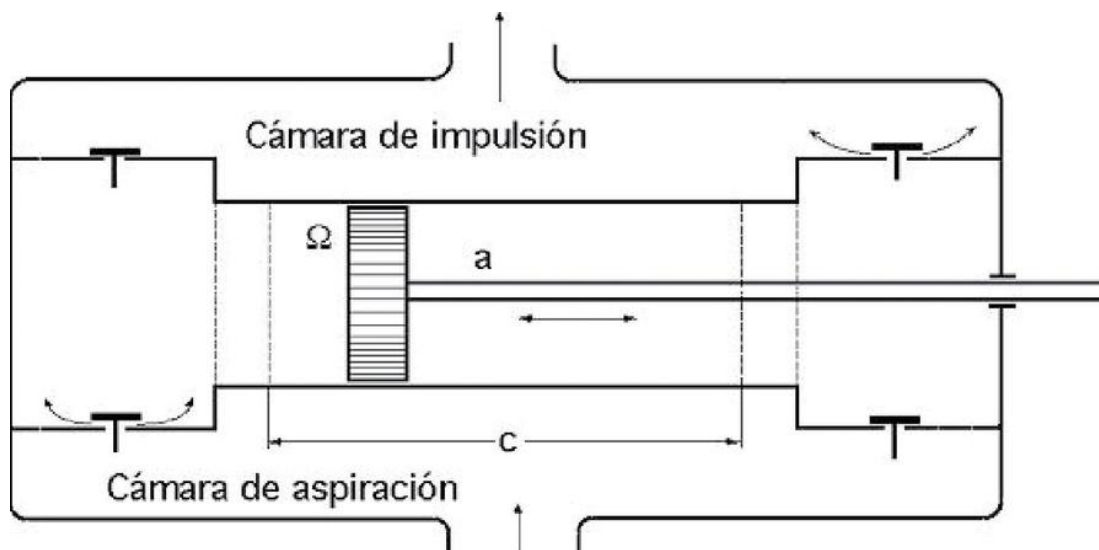


Figura 5.8 Esquema del cuerpo de una bomba de émbolo de doble efecto

Las bombas de émbolo pueden crear presiones de miles de atmósferas, siendo entre todas las bombas existentes, las que poseen mayor impulsión; normalmente funcionan con números de revoluciones bajos, del orden de 300 a 500 rpm (velocidad del émbolo  $< 1.5$  m/s), ya que si las revoluciones son más altas, se puede llegar a alterar el funcionamiento normal de las válvulas de succión e impulsión, debido a esta marcha lenta, sus dimensiones resultan bastante mayores que las de una bomba centrífuga que funcione en las mismas condiciones de caudal y altura manométrica. La regulación del caudal se puede hacer modificando el número de rpm del cigüeñal, o mediante un by-pass, haciendo que parte del caudal impulsado vuelva otra vez a la cámara de succión.

El caudal real ( $q$ ) permite obtener rendimientos volumétricos que oscilan entre el 0.85 y el 0.99, siendo mayor en aquellas bombas cuyo émbolo es de mayor diámetro, y menor si disminuye la viscosidad del líquido.

### 5.2.2.3 BOMBAS ROTATIVAS

Las bombas rotativas que componen este grupo se diferencian sustancialmente en su diseño y construcción, pero tienen muchas características comunes, como la traslación de las cámaras de trabajo desde la cavidad de admisión de la bomba hasta la de impulsión, o el movimiento absoluto giratorio, o el más complicado de avance y giro de los elementos móviles.

Las bombas rotativas cuentan con un estator, en donde están las cavidades de succión e impulsión, el rotor está fijo a un árbol motriz (motor eléctrico), además existen uno o varios elementos móviles (lóbulos), que se desplazan realizando una serie de movimientos cíclicos respecto al rotor; en la Figura 5.9, se exponen algunos ejemplos.

Estas bombas tienen la particularidad de ser reversibles, pudiendo trabajar también como motores hidráulicos cuando se les suministra un líquido a presión. Las bombas rotativas son considerablemente más rápidas que las de émbolo, estando su campo de trabajo entre las 3000 y 5000 rpm, e incluso más; a su vez disponen de una cierta uniformidad de impulsión, muy superior a la de las bombas de émbolo.

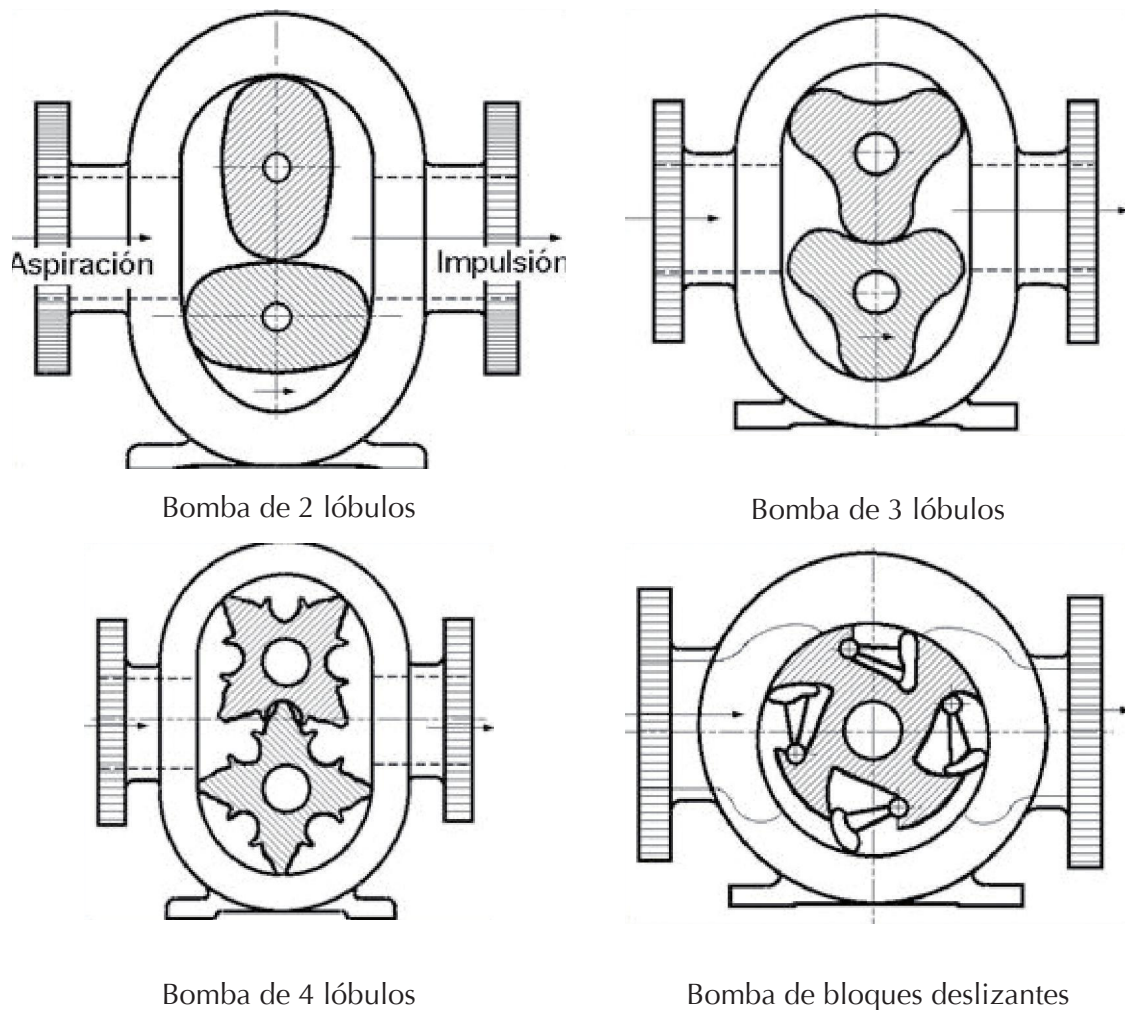


Figura 5.9 Bombas de lóbulos

#### 5.2.2.4 BOMBA DE ENGRANAJES

La bomba de engranajes consiste en dos ruedas dentadas iguales, ajustadas al cuerpo de la bomba o estator (Figura 5.10), y el impulsor esta unido al rotor. Como el espacio entre elementos y la carcasa es extremadamente pequeño y el material que es bombeado actúa como agente lubricante, la bomba nunca girará en seco.

Estas bombas no están diseñadas para transportar sólidos, y por regla general llevan filtros en la línea de succión. Se accionan por un motor eléctrico y giran a elevada velocidad.

En la cavidad de succión, el líquido llena los espacios entre los dientes de ambas ruedas dentadas, y después, estos volúmenes se aíslan y desplazan por unos arcos de circunferencia a la parte de descarga de la bomba; siendo las cámaras de trabajo, los huecos existentes entre los dientes. Así, el número de volúmenes, que pasan durante una revolución, es igual al número total de dientes de las dos ruedas dentadas.

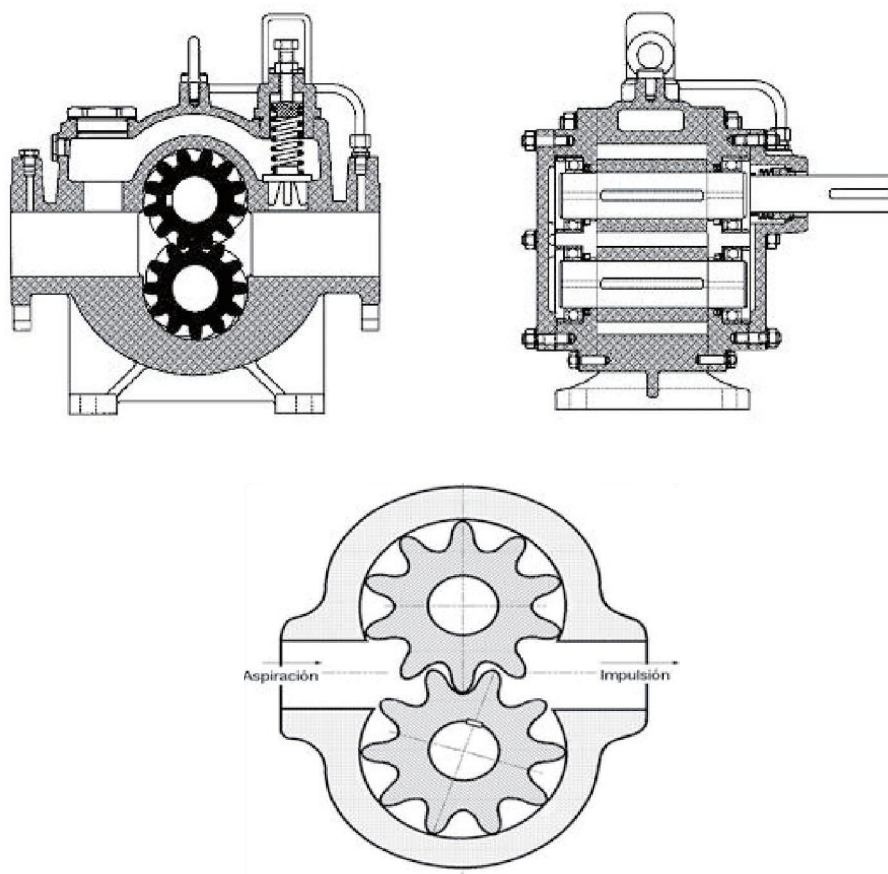


Figura 5.10 Bomba de engranajes exteriores

Estas bombas pueden crear presiones entre 100 y 150 atm. Para obtener presiones más elevadas, se hace un montaje de varias bombas acopladas en serie.

#### 5.2.2.5 BOMBAS DE ALETAS

Las bombas de aletas consisten en un conjunto de cuatro o más aletas con cinemática plana (radial); el rotor es un cilindro hueco con ranuras radiales en las que oscilan o deslizan las aletas, que son los impulsores. En la Figura 5.11 y en Figura 5.12 se muestran algunos ejemplos.

El rotor va dispuesto en forma excéntrica respecto a la superficie interior del estator que es cilíndrica, debido a lo cual, las aletas, durante la rotación del rotor, realizan movimientos alternativos o de vaivén respecto al rotor.

El líquido llena un espacio, que es el comprendido entre dos aletas vecinas y las superficies correspondientes del estator y del rotor. Este espacio es la cámara de trabajo, cuyo volumen crece durante el giro del rotor, hasta alcanzar un valor máximo,



y después, se cierra y se traslada a la cavidad de impulsión de la bomba, comenzando al mismo tiempo el desalojo del líquido de la cámara de trabajo en una cantidad igual a su volumen útil.

Observándose que con este mecanismo el grado de hermeticidad no puede ser grande, por cuanto la separación entre las cámaras de succión y de impulsión se efectúa sólo por contacto del borde de las aletas con el estator, y esto hace que las presiones creadas por la bomba de aletas sean, en general, inferiores a las creadas por otras bombas rotativas. Se puede aumentar la presión aumentando el número de aletas, o también, mejorando el contacto aletas-estator.

Las bombas de aletas admiten la posibilidad de regular su volumen de trabajo, modificando la excentricidad del rotor frente al estator.

Si disminuye la excentricidad, se reduce el suministro de la bomba, manteniendo invariable el número de revoluciones, y a la inversa, pero para eso se requiere que en la construcción de la bomba se prevea esta posibilidad, mediante el dispositivo adecuado.

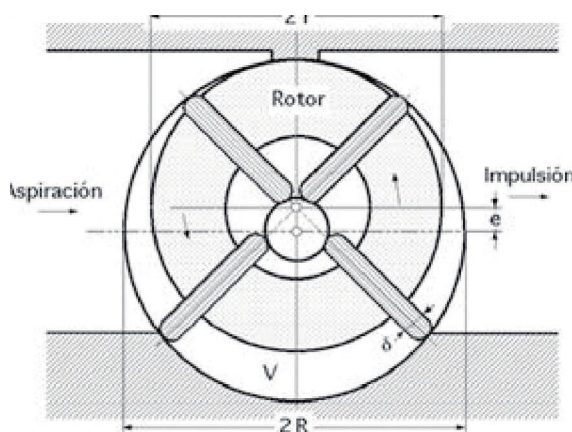


Figura 5.11 Bomba de aletas deslizantes

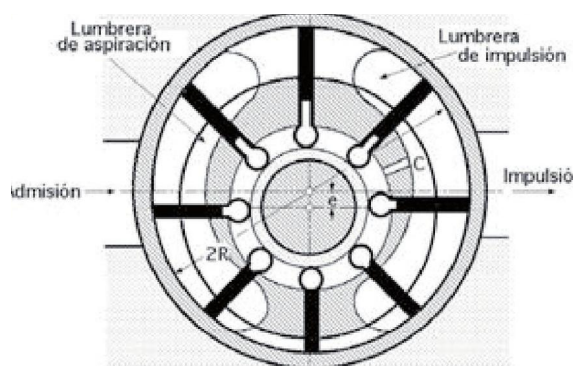


Figura 5.12 Bomba de aletas con contacto mejorado

#### 5.2.2.6 BOMBAS HELICOIDALES

Las bombas helicoidales pueden ser de uno o varios tornillos (Figura 5.13 a la Figura 5.15). Si se considera una bomba helicoidal de tres tornillos (Figura 5.16), de los cuales el central es el conductor y los dos laterales los conducidos, para asegurar un cierre hermético de las cámaras de trabajo y, por lo tanto, la separación de las cavidades de succión e impulsión de la bomba, se necesita que los tornillos tengan un perfil cicloidal determinado. En el tornillo conductor, este perfil es convexo, mientras que, en los conducidos, es cóncavo.

Las cámaras de trabajo vienen limitadas entre los filetes de los tres tornillos y las superficies internas del estator; durante el giro de los tornillos, las cámaras de trabajo se desplazan, junto con el líquido, a lo largo de los ejes de rotación.

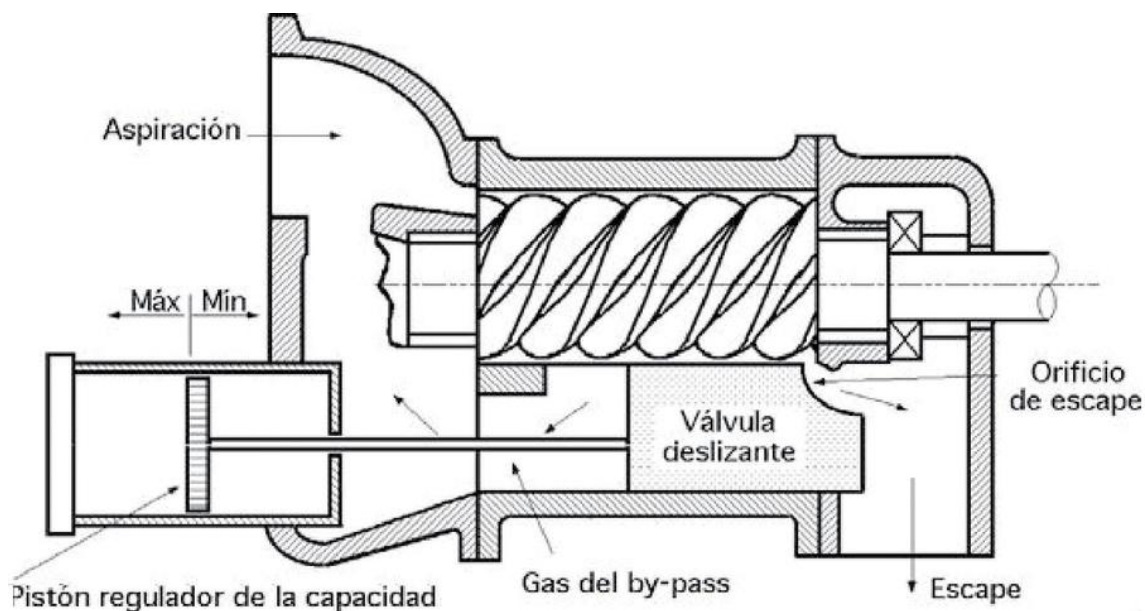


Figura 5.13 Bomba de tornillo simple con regulación de la capacidad de volumen desplazado mediante válvula deslizable

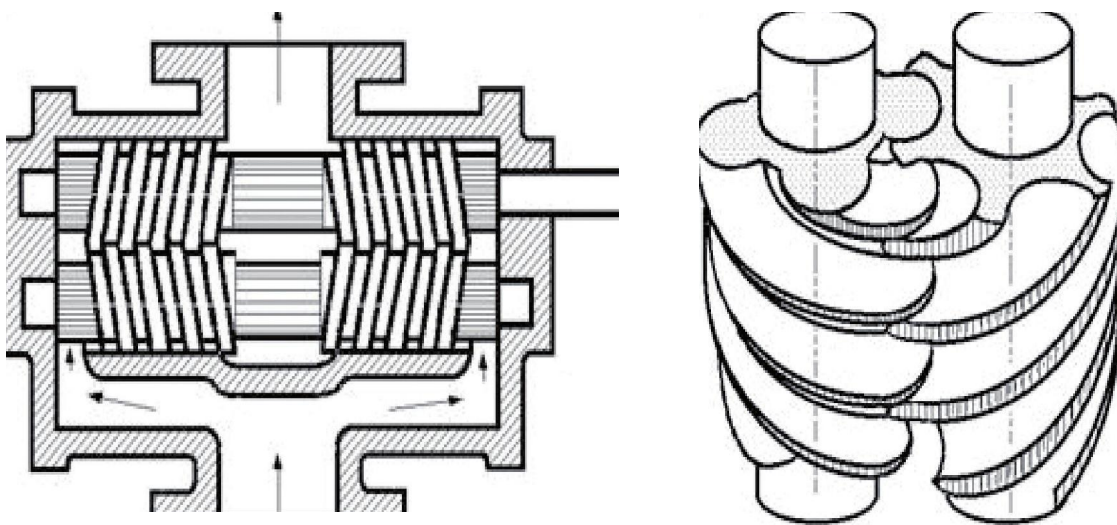


Figura 5.14 Bomba de tornillo doble

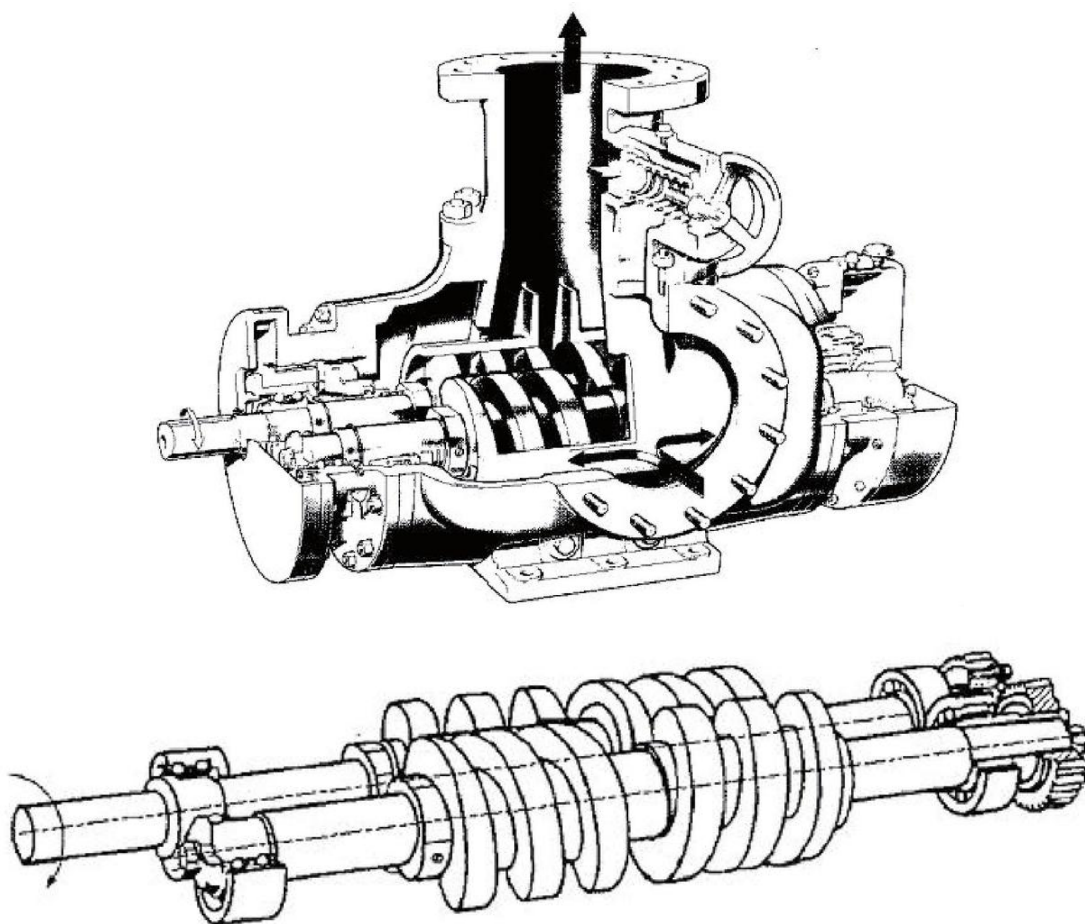


Figura 5.15 Bomba de tornillo doble, vista de conjunto

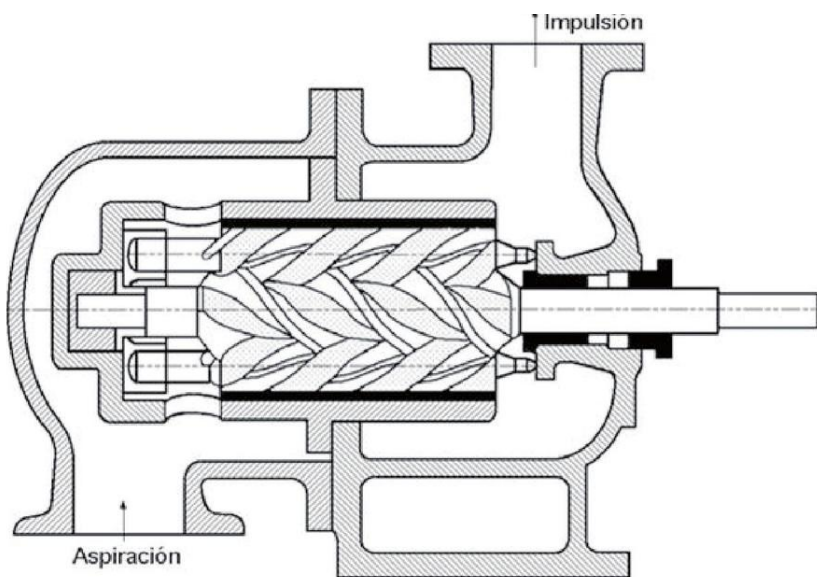


Figura 5.16 Esquema de bomba helicoidal de 3 tornillos

Las bombas de tres tornillos son capaces de crear presiones entre 100 y 200 kg/cm<sup>2</sup>; cuanto mayor sea la presión, tanto más larga tiene que ser la vía de traslación de las cámaras de trabajo y, en consecuencia, más largos deberán ser los tornillos.

Esta bomba posee unas curvas características de suministro bastante uniformes, siendo capaz de trabajar entre 3000 y 5000 rpm, distinguiéndose por un funcionamiento silencioso y seguro, pero tiene problemas parecidos a los planteados en la bomba de engranajes ya que es imposible regular el volumen de trabajo durante el movimiento.

#### 5.2.2.7 BOMBAS ROTATIVAS DE ÉMBOLO

Las bombas rotativas de émbolo se utilizan tanto con diseños de cinemática plana, con émbolos radiales, como con cinemática espacial, con émbolos axiales.

Las bombas radiales de émbolo (Figura 5.17), constan de un estator (3), y un rotor (1) que lleva una serie de alojamientos radiales cilíndricos, en los que encajan unos émbolos (2) que desempeñan el papel de impulsores, realizando a medida que gira el rotor, un movimiento de vaivén respecto a éste.

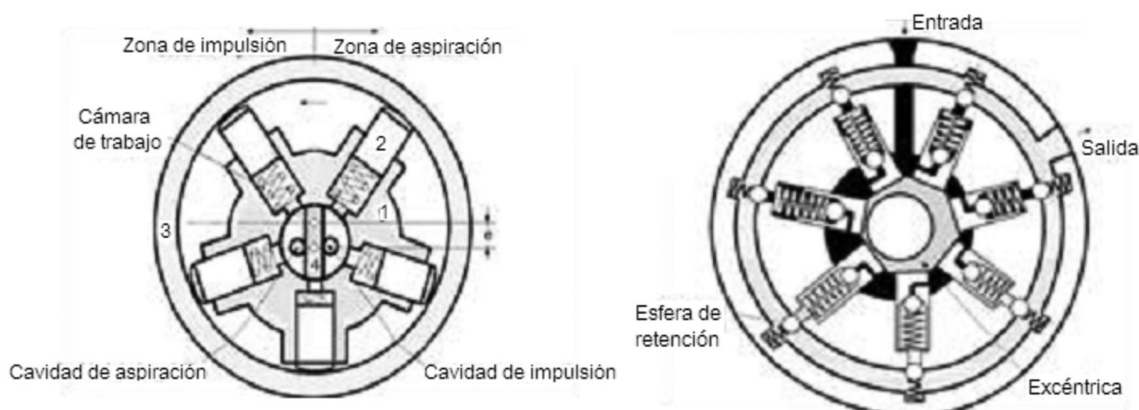


Figura 5.17 Bombas rotativas de émbolo radiales

Las cámaras de trabajo de succión y de impulsión se comunican a través de orificios radiales, alternativamente, con las dos mitades de la cavidad central, que está dividida por un tabique (4). El líquido pasa de la cámara de succión, a las cámaras de trabajo y en el momento en que el orificio radial queda tras el tabique ésta se cierra, y el líquido es expulsado a la cámara de impulsión.

Estas bombas se fabrican para presiones del orden de 200 a 300 atm y se emplean tanto para volúmenes de trabajo constantes, como variables, lo cual se consigue, al igual que en las bombas de aletas, variando la excentricidad. En este tipo de bombas las cámaras



de trabajo cilíndricas van dispuestas en el rotor paralelamente al eje de rotación, o con un cierto ángulo respecto a dicho eje.

En la Figura 5.18 se muestra un esquema sencillo de este tipo de bombas, en el que el rotor 1 tiene los alojamientos para los pistones, paralelos al eje de rotación; los pistones 2 se desplazan mediante la acción de unos muelles que se deslizan sus extremos libres por un disco inclinado 3 en forma de arandela, que hace que los pistones ordenados circunferencialmente alrededor del eje, realicen un movimiento de vaivén en los alojamientos correspondientes, produciéndose de esta forma la succión e impulsión del líquido.

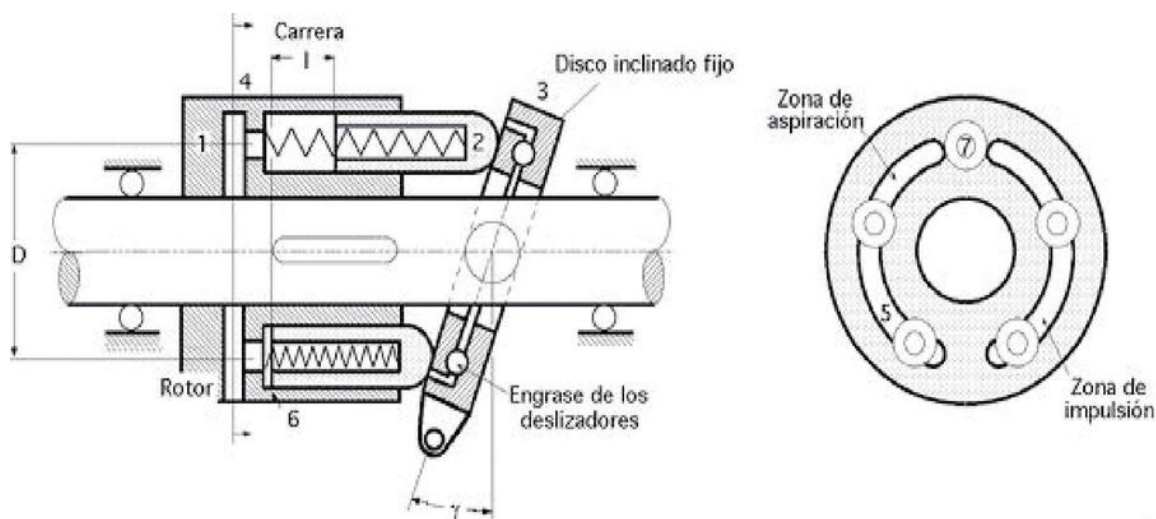


Figura 5.18 Esquema de bomba rotativa con 5 émbolos axiales

En la parte 4 de la bomba, a la que va adherida el rotor, existen dos ranuras anulares, una de las cuales se comunica con la parte de succión y la otra con la de impulsión.


Al girar el rotor, los orificios 6 se desplazan por las ranuras 5, y por lo tanto, van uniendo alternativamente los alojamientos con los conductos de succión e impulsión; cuando los orificios se encuentren en las posiciones 7, se cierra la cámara de trabajo y se obtiene el volumen máximo en la posición superior y el mínimo en la inferior.

En este caso, el desplazamiento de los pistones o émbolos se produce no sólo por la acción de los muelles, sino también por las componentes de la fuerza centrífuga que actúan sobre los pistones al girar el rotor, lo cual permite disminuir las dimensiones de los muelles.



A continuación se muestran y describen algunas de las bombas que actualmente se encuentran disponibles en el mercado (Tabla 5.2). La información proporciona usos o aplicaciones, principales características de operación, caudal que puede transportar y altura de descarga.

Tabla 5.2 Descripción de bombas ABS

	<p>Bomba inatascable de instalación en seco, para bombeo de aguas residuales para aplicaciones urbanas e industriales, de tipo centrífuga.</p> <p>Su diseño permite retirar la parte posterior del equipo, los motores son eléctricos tipo estándar, simplificando así los trabajos de mantenimiento. El dimensionamiento de su impulsor y voluta las hace prácticamente inatascables. Posibilidad de funcionamiento en seco con doble junta mecánica. También pueden suministrarse con equipo de cebado. Puede proporcionar un caudal hasta de 8000 m<sup>3</sup>/h a una altura máxima de 65 m.</p>
	<p>Bombas de construcción robusta para aguas residuales con potencia entre 1 y 3 KW, apropiadas para bombeo de aguas en edificios y aplicaciones industriales, de tipo centrífuga.</p> <p>Con motor encapsulado, totalmente hermético y con impulsor vortex para un funcionamiento sin bloqueos. Puede proporcionar un caudal hasta de 80 m<sup>3</sup>/h a una altura máxima de 35 m.</p>
	<p>Bomba sumergible con potencia entre 1.3 y 1000 KW (1.7 a 1300 HP), de tipo centrífuga.</p> <p>Puede proporcionar un caudal hasta de 11500 m<sup>3</sup>/h a una altura máxima de 90 m. Puede ser empleada para el manejo de cualquier tipo de agua con contenido de sólidos y hasta lodos.</p> <p>Los impulsores pueden ser abiertos o cerrados, con uno o varios álabes.</p>

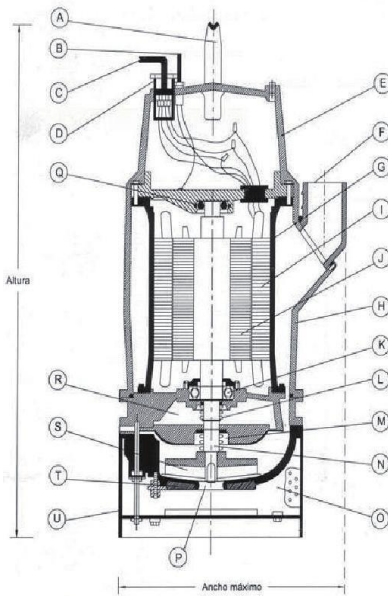

	<p>Bombas de tipo centrífuga para aguas residuales con acción de trituración de sólidos y para conducción en tuberías de diámetros pequeños.</p> <p>Ideal para sitios en donde se tenga que elevar el agua a grandes alturas o donde solo se puedan colocar tuberías pequeñas.</p> <p>Puede proporcionar un caudal hasta de 32 m<sup>3</sup>/h a una altura máxima de 80 m.</p>
	<p>Bombas sumergibles centrífugas de flujo axial. Están diseñadas para el bombeo de grandes caudales a alturas moderadas y sus aplicaciones incluyen el bombeo de aguas pluviales, aguas residuales y protección contra inundaciones. Cuneta con un impulsor semiabierto que permite el paso de cierto tamaño de sólidos.</p> <p>Puede proporcionar un caudal hasta de 25000 m<sup>3</sup>/h a una altura máxima de 30 m.</p>
	<p>Bomba centrífuga axial de cámara partida, de instalación horizontal o vertical, equipada con un impulsor de doble aspiración.</p> <p>Puede proporcionar un caudal hasta de 17000 m<sup>3</sup>/h a una altura máxima de 220 m.</p>
	<p>Bomba de hélices sumergibles para el bombeo y recirculación de lodos activados, especialmente adecuada para el proceso de desnitrificación/nitrificación.</p> <p>Diseñada para grandes caudales (4500 m<sup>3</sup>/h) y bajas alturas (1.8 m). La instalación es sencilla, ya que ésta descende a lo largo de un tubo de guía y se conecta a la tubería mediante un sistema de acoplamiento automático.</p>

Fuente: Grupo ABS, 2009

A continuación se muestra la Tabla 5.3 con las características de operación y construcción de una bomba centrífuga sumergible de marca IMPEL, así como las curvas de desempeño y consumo de energía (Figura 5.19). También se puede observar un diagrama de las partes que la componen y su fácil instalación.

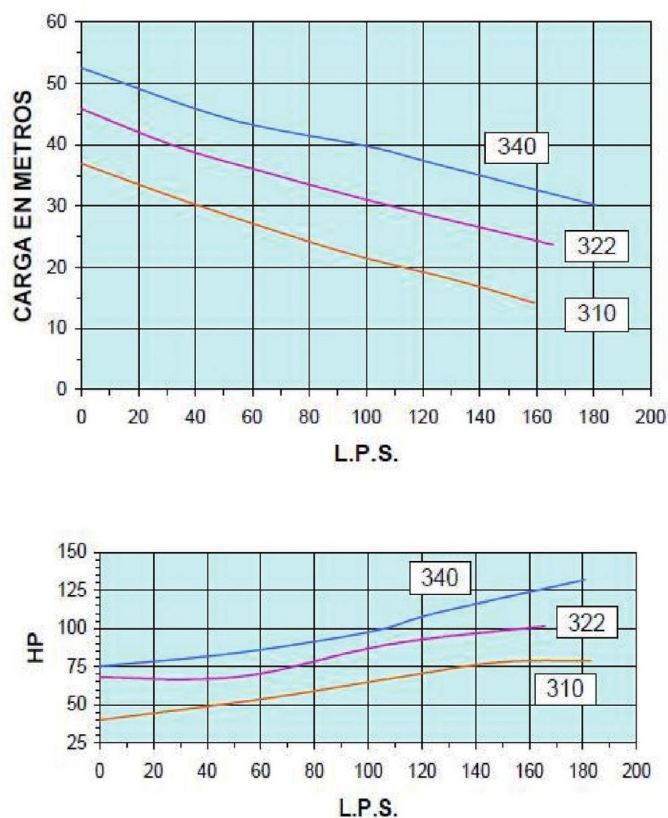
Tabla 5.3 Bombas centrífugas sumergibles IMPEL.

Diámetro de descarga	200 mm (8")	
Paso de esfera	76 mm (3")	
Modelo	LD-200-xxx-yyy-W	
HP del motor	75	100
Diámetro Std. del impulsor (mm)	310	322
Polos / r.p.m.	1750	
Servicio	Continuo	
Temp. máx. liq. bombeado	40°C (104°F)	
Tipo de motor	Inducción jaula de ardilla	
Motor	Inundado en aceite	
Volts	440	
Fases	3	
Hz	60	
Amperaje máximo 440v	93	123
Amps. a rotor bloq. 440v	448	567
Aislamiento clase	F	
Longitud de cable	8 m(26")	
Impulsor tipo	Cerrado 2 álabes	
Brida de descarga	200 mm (") clase 125	
Lubricación de baleros	Aceite	
No. de sellos mecánicos	2	
MATERIALES		
Voluta	Fo.Fo. ASTM-A48-CL-30	
Impulsor	Fo.Fo. ASTM-A48-CL-30	
Flecha	410-SS	
Sello mecánico superior	Carbón-Cerámica	
Sello mecánico inferior	Carbón-Cerámica	
Tornillos y tuercas	18-8-SS	
Anillo de desgaste	Bronce	
Maneral	316 SS	
Pintura	Epóxica	



MODELO	Altura en mm	Ancho en mm
A-152-191	1000 (39.4")	550 (21.8")
A-152-190		

- A Maneral
- B Cable de control
- C Cable de alimentación
- D Niple de sellado
- E Tapa de cables
- F Descarga para manguera
- G Camisa interior
- H Camisa exterior
- I Estator
- J Rotor
- K Balero inferior
- L Sello mecánico superior
- M Sello mecánico inferior
- N Flecha
- O Difusor
- P Entrada de succión
- Q Balero superior
- R Carter de aceite
- S Impulsor
- T Anillo de desgaste
- U Colador



FUENTE: IMPEL de México

Figura 5.19 Curvas de desempeño de bomba centrífuga sumergible IMPEL

### 5.3 SEDIMENTADORES

Los sedimentadores realizan la función de remover sólidos suspendidos; si la unidad de proceso está antes del tratamiento secundario, se denominan primarios; si son parte del proceso de tratamiento biológico, se conocen como secundarios.

Los sedimentadores se clasifican por su forma en: circulares, cuadrados, rectangulares, hexagonales y octagonales. Los más comunes son los circulares y los rectangulares.

#### 5.3.1 SEDIMENTADORES CIRCULARES

Los sedimentadores circulares (b) Foto 5.4, Foto 5.5 y Figura 5.20) se caracterizan por presentar flujos radiales ya sea de entrada o salida. Son seleccionados y diseñados para tratamiento primario y secundario.



Sus diámetros varían desde pocos metros hasta grandes tanques de 100 m. La profundidad para tanques primarios varía de 2.5 a 4 m, y para secundarios de 3 a 5 m. Existen diversos tipos de configuraciones; se clasifican por su alimentación, en central o periférica.



Foto 5.4 Sedimentador circular con recolección mecánica de lodos



La operación es muy sencilla, sin embargo, se debe tener cuidado en el arranque, pues si hay lodos acumulados puede presentarse una rotura de la armadura. El desnatador trabaja con un mecanismo automático, se debe verificar que el motorreductor esté funcionando normalmente y que el desnatador no se atore. Realmente la operación importante de los sedimentadores es el control de la extracción o purga de lodos para evitar problemas sépticos y crecimiento o desaparición del manto de lodos.

Otro de los equipos en estos tanques son las rastras con puente fijo o móvil. Su función principal es empujar el lodo del fondo del sedimentador de manera concéntrica hasta alcanzar una tolva ubicada en el centro del tanque (a un lado de la columna central), de donde son extraídos en forma hidráulica o por bombeo.

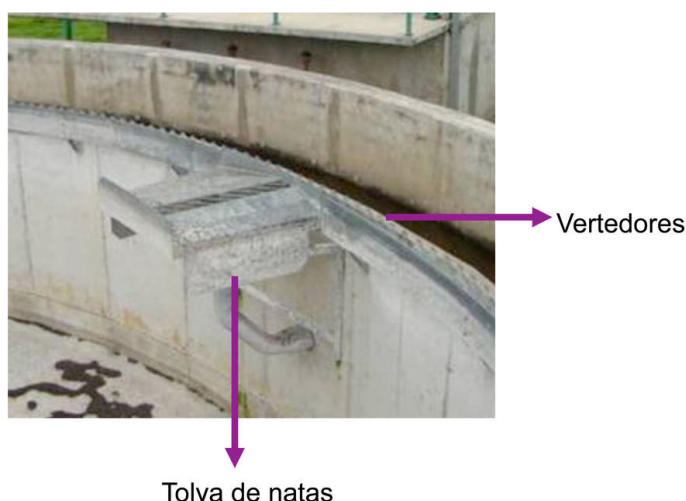


Foto 5.5 Salida de natas y agua clarificada

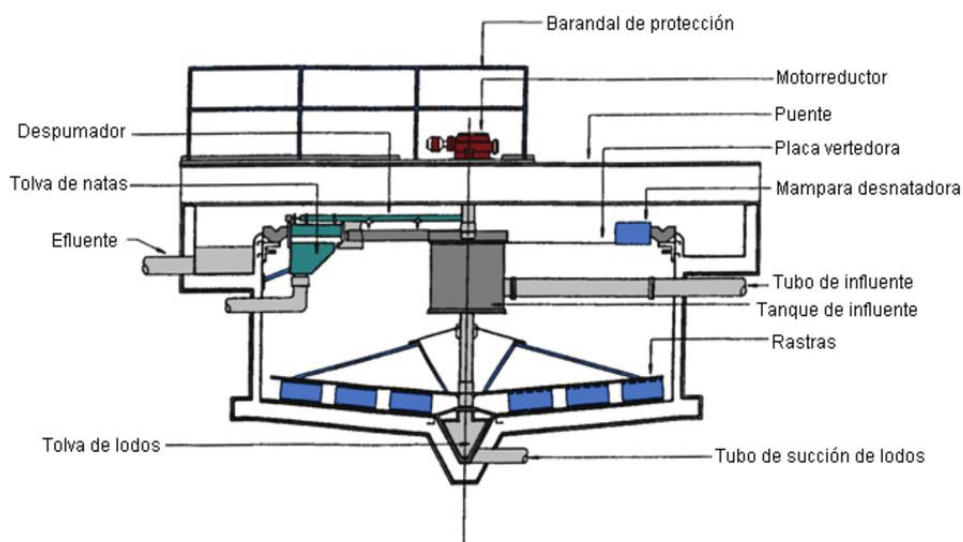


Figura 5.20 Típico sedimentador circular

Este tipo de rastra se considera como un excelente mecanismo para remover lodos primarios, secundarios y para remoción de cal u otros químicos en tratamientos terciarios. Ofrece la ventaja de ser un mecanismo simple en funcionamiento, y muy fácil en cuanto a operación y mantenimiento.

### 5.3.2 *SEDIMENTADORES RECTANGULARES*

Los sedimentadores rectangulares se usan más en plantas de tratamiento de aguas residuales grandes. Muchos ingenieros proyectistas los consideran económicos por sus paredes comunes a otros tanques y por la conveniencia de tener una galería de bombeo en un extremo del tanque. Los detalles de diseño incluyen: profundidad, orificios de entrada, mamparas, desnatadores, rastras, canaletas, andadores, etc. Este número de parámetros hace que exista una gran diferencia en el diseño de los tanques (Figura 5.21 y Foto 5.6).

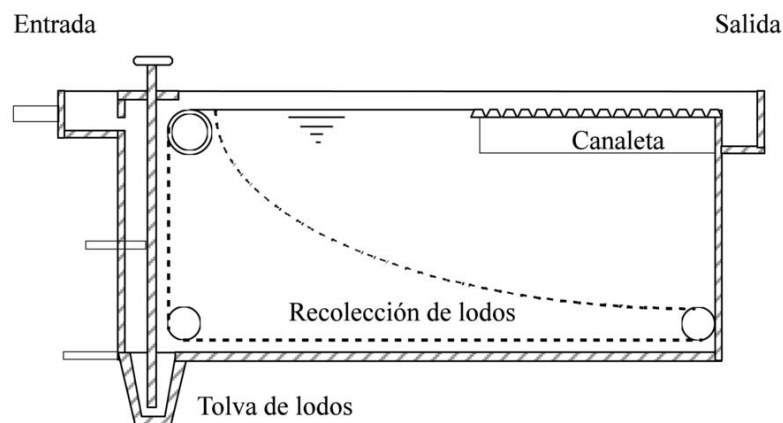


Figura 5.21 Esquema de un sedimentador rectangular



Foto 5.6 Sedimentador rectangular en operación

La mayor parte de estos tanques tienen una profundidad de 2 m, pero para lodos activados esta profundidad es mayor. La relación largo/ancho generalmente está entre 1.5 y 15. Para prevenir cortocircuitos se requiere un ancho mínimo de 3 m, y una relación largo/ancho mínima de 3.

La alimentación se hace en un extremo, y la recolección de agua sedimentada en el extremo opuesto. El lodo que se deposita en el fondo del sedimentador, es acarreado por medio de una rastra a un extremo donde se han construido tolvas y se extrae por medios mecánicos o hidráulicos.

Los mecanismos recolectores de lodos para tanques rectangulares pueden ser de dos tipos: rastras de cadenas o puentes viajeros.

Las rastras de cadenas (Figura 5.22 y Figura 5.23) constan de una serie de rastras cuyos extremos se fijan a dos cadenas paralelas que se mueven mediante un sistema de catarinas por medio de un motorreductor.

Este movimiento es lento, evitando la turbulencia del lodo depositado en el fondo al ser arrastrado a las tolvas colocadas en un extremo del sedimentador. En sedimentadores primarios y en algunos secundarios, las rastras también sirven, al regresar, como desnatadores, llevando en su viaje, al extremo opuesto de las tolvas, las natas que son recolectoras generalmente en una media caña de operación manual y retiradas del sedimentador.

Una desventaja es su difícil mantenimiento; cuando es requerido se debe vaciar el sedimentador. Comparando con otros sistemas, el mantenimiento de rastras, cadenas, catarinas, motorreductores, flechas y baleros es más serio y, por tanto, de mayor duración y tal vez también de mayor costo.

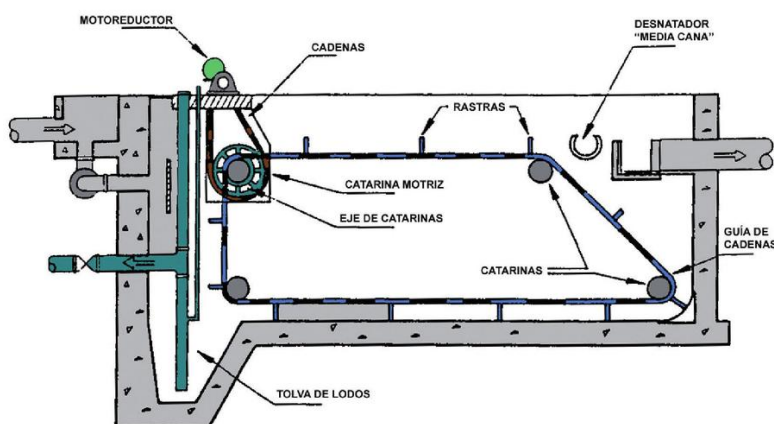


Figura 5.22 Sedimentador rectangular con rastras de cadenas con recolección de natas

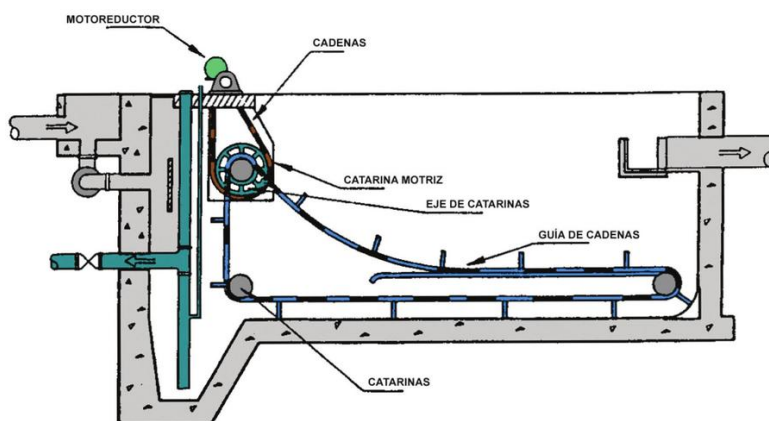


Figura 5.23 Sedimentador rectangular con rastras de cadenas sin remoción de natas

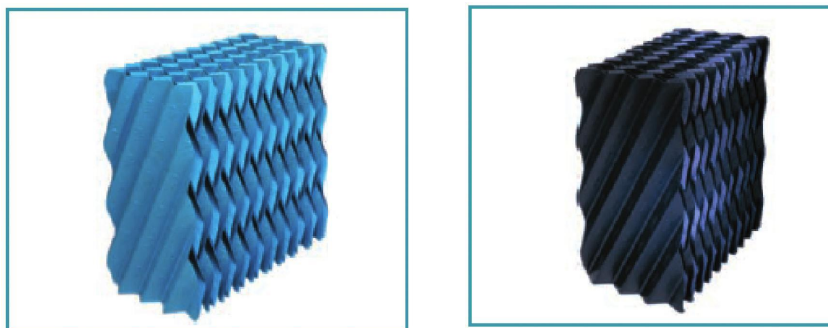
Los puentes viajeros están equipados con una sola rastra que puede ser nivelada. El puente se mueve hacia adelante y hacia atrás sobre rieles colocados en ambos lados del sedimentador. El mecanismo funciona de ida para extraer lodos del fondo y de vuelta como desnataador.

El puente viajero con rastra o con mecanismo de succión fue desarrollado para resolver problemas de mantenimiento, como los mencionados para rastras con cadenas. No requieren que el sedimentador se vacíe para su mantenimiento o reparación.

Los puentes viajeros con rastra, raras veces se utilizan en plantas de lodos activados; los puentes viajeros con sistema de succión son más comunes.

### 5.3.3 SEDIMENTACIÓN DE ALTA TASA

Para que un sedimentador incremente su área superficial, es decir, su capacidad de eliminar sólidos, actualmente se emplean módulos de sedimentación, que son unidades tubulares en bloques (Foto 5.7), donde las formas más comunes son de círculo, hexágono, rombo y cuadrado.



FUENTE: IMPEL DE MEXICO

Foto 5.7 Módulos de alta tasa



Estos módulos generalmente presentan una inclinación de  $60^\circ$  y son colocados de forma adyacente, esto es, dando una sola dirección a los tubos (Foto 5.8), lo que proporciona una mayor área de sedimentación.



(FUENTE: Decantek)

Foto 5.8 Colocación de módulos en sedimentador rectangular y circular

Esta configuración disminuye el tiempo de sedimentación, de tal forma, que los flóculos finos que no se eliminan en la zona de clarificación son capturados en el interior de los tubos y se promueve la formación de un flóculo más grande, que por su peso se desliza hacia abajo y es eliminado del agua.

Ahora bien, una parte importante a considerar es que debe existir un flujo laminar dentro del tubo, esto es un número de Reynolds menor a 400, para que se de una rápida acumulación de sólidos y su pronta sedimentación.

El colocar módulos en unidades existentes puede hacer que se incremente de 1.5 a 2 veces el flujo de agua a clarificar, además de obtener un efluente de mejor calidad. Pero si un sedimentador de origen es diseñado bajo este concepto el área que se requiere es mucho menor.

## 5.4 SISTEMAS DE AERACIÓN

En los tratamientos biológicos aerobios es importante conocer los factores que influyen directamente sobre la transferencia de oxígeno y la calidad del agua a tratar. Así, es necesario tomar en cuenta la temperatura del agua, la altitud a la que esta localizada

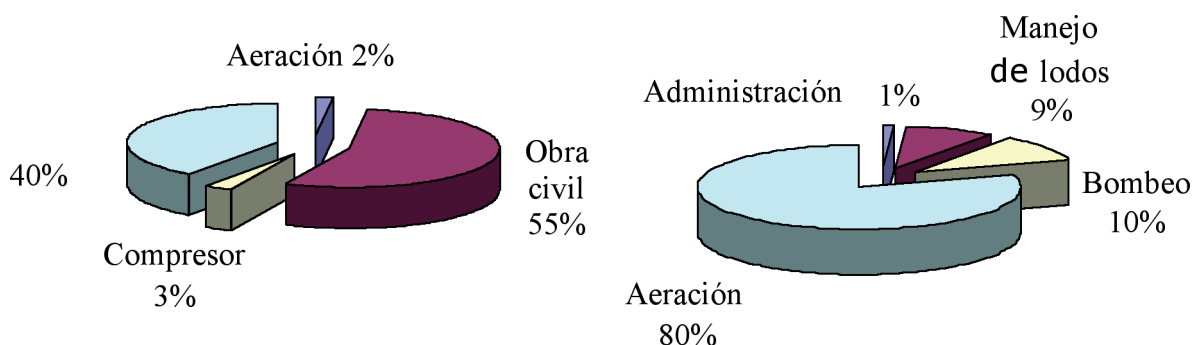


la instalación, la agitación requerida, la profundidad y la forma del reactor biológico, las características del equipo de aeración y sobre todo los constituyentes del agua, inorgánicos y/u orgánicos, particulados y/o disueltos.

Sin dejar de lado la importancia de la calidad del agua, al sistema de aeración se le considera como el corazón de las plantas de lodos activados, debido a que:

- Proporciona el oxígeno necesario para que los microorganismos puedan realizar sus funciones metabólicas, esto es para oxidar la materia carbonosa y el nitrógeno amoniacal.
- Distribuye uniformemente el oxígeno en todo el volumen del tanque, proporcionando una burbuja uniforme para que los microorganismos puedan utilizarlo adecuadamente, generando así una buena actividad biológica y por tanto un buen flóculo que sedimentará adecuadamente proporcionando un efluente claro.
- Genera la energía necesaria para mantener en suspensión a la materia y a los microorganismos que deben estar en contacto todo el tiempo.

Una información relevante en los sistemas de aeración es el que sólo representan el 5% de los costos de inversión de una PTAR, sin embargo, los costos de operación son muy cercanos a 80%, esto debido al consumo energético (Figura 5.24).



(FUENTE: Grupo ABS, 2009)

Figura 5.24 Costo de inversión y operación del sistema de aeración

Una vez que entra en operación la PTAR los requerimientos del sistema de aeración son del 10% en el pretratamiento, un 70% en reactores biológicos y un 20% en el tratamiento de lodos, aunque en pretratamiento estrictamente no es necesario y en el tratamiento de lodos se puede tener un proceso anaerobio, lo cual puede dejar al sistema secundario con el 100%.

Los sistemas de aeración están divididos o clasificados por la forma en que se introduce el aire al reactor biológico, así se tienen los que aspiran aire (mecánicos) y los que suministran aire a presión (difusión).

#### 5.4.1 AERADORES MECÁNICOS

La aplicación más usual de los aeradores mecánicos incluye varias modificaciones al proceso de lodos activados; zanjas de oxidación, unidades de forma oval o de anillo, lagunas aeradas, etc. Los aeradores mecánicos también son usados en otras unidades de proceso, como en sistemas de preaeración, tanque de homogeneización, etc.

Los principales requisitos para aceptar equipos de aeración mecánica son los siguientes:

1. Se debe tener suficiente transferencia de oxígeno a un costo razonable.
2. La capacidad de mezclado debe ser suficiente.
3. Los aerosoles y el rocío causado por la aeración no deben contaminar el aire; esto es importante en plantas cercanas a zonas residenciales.
4. Los aeradores deben requerir poco mantenimiento, flexibilidad de operación y control del equipo.

En general los aeradores mecánicos deben proporcionar una combinación de aeración y mezcla del líquido. Algunos producen la interfase gas-líquido tomando aire de la atmósfera y dispersándolo en burbujas; otros dispersan el líquido en el aire en forma de gotas; algunos producen películas delgadas de agua que entran en contacto con el aire, y otros generan gotas de agua y burbujas de aire. Un grupo específico de aeradores mecánicos usan la difusión inyectando el aire de la superficie al líquido; se llaman aeradores mecánicos combinados.

##### 5.4.1.1 AERADORES DE TURBINA

Con este tipo de aeradores se consigue una entrada del oxígeno atmosférico por aeración superficial y al dispersar el aire comprimido por la acción de la cizalladura producida por la turbina. Las burbujas de aire que entran por una tubería, colocada abajo del agitador, se rompen por el efecto de corte de las palas del agitador, que gira a alta velocidad (Foto 5.9).

Una característica importante de las turbinas es su flexibilidad, debido a que el grado de mezcla se controla con la potencia de la turbina, que es independiente del caudal de aire.

Las variables principales a considerar son el caudal del aire, el diámetro y velocidad de la turbina o rotor. Estas variables definen el tamaño de la burbuja y el grado de agitación en el tanque, que afectan directamente al coeficiente de transferencia de oxígeno (Ramhalo, 1991).



(FUENTE: Grupo ABS, 2009)

Foto 5.9 Aeradores superficiales tipo turbina

La capacidad de la transferencia de oxígeno puede ser de 1.1 a 2.1 Kg O<sub>2</sub>/ KW h y el coeficiente de transferencia del 5 al 15%, dependiendo del mezclador y de la geometría del reactor (Metcalf y Eddy, 2003).

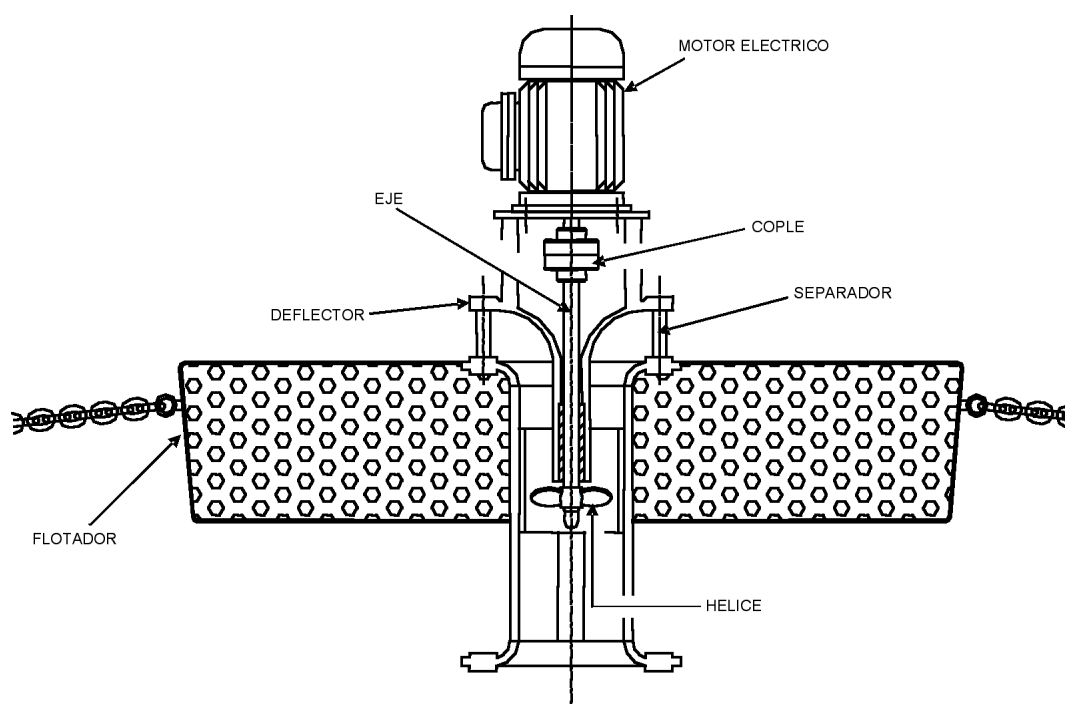


Figura 5.25 Aerador superficial flotante de eje vertical y con impulsor de alta velocidad.

#### 5.4.1.2 AERADORES SUPERFICIALES

Estos equipos sólo se fundamentan en el arrastre del aire atmosférico, basándose en la succión del agua hacia arriba por un rotor dentro de un tubo vertical colocado en la parte inferior de la unidad y siendo luego esparcida hacia el exterior (Figura 5.25 y Foto 5.10). La capacidad de transferencia de oxígeno es de 1.5 a 2.1 Kg de  $O_2$  / KW h (Romero, 2005), y ésta se consigue por dos mecanismos:

- De turbulencia: transferencia en la superficie turbulenta del agua.
- De dispersión: transferencia a las gotas esparcidas por las palas de la unidad.

Debido a la evaporación de las gotas de agua esparcidas, hay una disipación considerable de energía. Lo que genera un descenso en la temperatura del agua, la cual deberá ser tomada en cuenta en épocas frías (Ramhalo, 1991).



Foto 5.10 Aerador superficial

#### 5.4.1.3 AERADORES HORIZONTALES (CEPILLOS)

Es un aerador superficial usado en zanjas de oxidación, y tiene forma de un cepillo o peine que hace mezclar y salpicar el agua mediante una rotación. La capacidad de mezcla y de aeración depende de la sumergencia y de la velocidad de rotación. Esta unidad saca el agua desde abajo y la pone en contacto con el aire (Foto 5.11).



(FUENTE: Grupo ABS 2009)

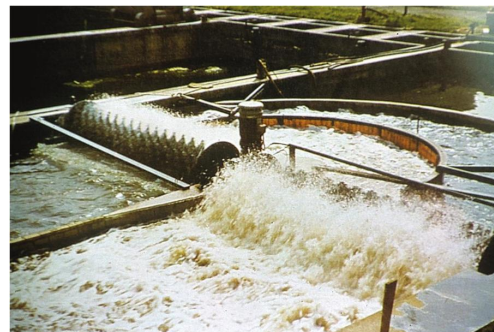


Foto 5.11 Aeradores de cepillo

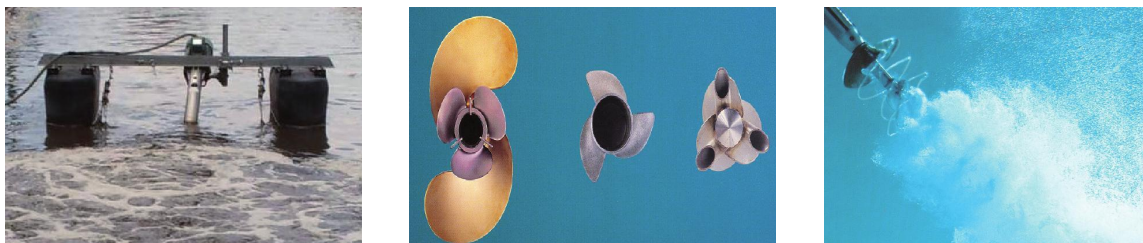


La capacidad de transferencia de oxígeno es de 1.5 a 2.1 Kg de  $O_2$ / KW h y tiene un eficiencia de transferencia de momentum del motor de 50% a la velocidad del agua en la zanja.

Se recomienda para asegurar una velocidad y mezcla apropiada, que la zanja no sea de un volumen mayor a 200 m<sup>3</sup>/m de rotor (Romero, 2005).

#### 5.4.1.4 AERADORES ASPIRANTES

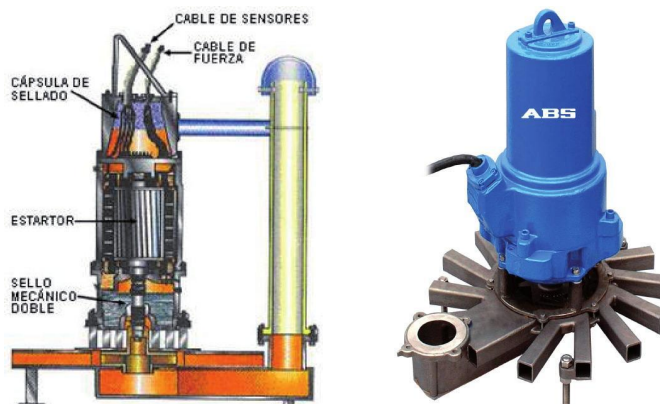
Dentro de este tipo de aeradores se distinguen los de tipo cañón que poseen un eje hueco de 1.2 m de largo, con un motor eléctrico en un extremo y una hélice en el otro, la cual aspira el aire atmosférico, hacia el eje. La velocidad del aire y de la hélice crean turbulencia lo que origina pequeñas burbujas, mediante las cuales se introduce oxígeno al sistema (Foto 5.12).



(FUENTE: Aeration Industries Internacional, Inc)

Foto 5.12 Aerador tipo cañón

Generalmente se instalan con ángulos variables de inclinación, sobre flotadores, en taques de aeración o zanjas de oxidación. Estos equipos tienen capacidades de transferencia de oxígeno de 0.5 a 1.1 Kg de  $O_2$ / KW h en campo (Romero, 2005).



(FUENTE: Grupo ABS, 2009)

Foto 5.13 Aerador sumergible autoaspirante



En la actualidad se han desarrollado algunos equipos autoaspirantes más pequeños con eficiencias de transferencia de oxígeno bastante competitivas. A continuación se describen algunos de estos equipos.

Los aeradores sumergibles autoaspirantes (Foto 5.13) se colocan en el fondo del tanque sin necesidad de anclajes, por lo que puede instalarse con tanque lleno o sacarlo sin necesidad de vaciarlo. El aerador se caracteriza por un nivel de ruido muy bajo y por no producir ningún efecto de aerosol. El equipo produce burbujas muy finas y una buena transferencia de oxígeno que es de hasta 80 Kg O<sub>2</sub>/h, con potencia máxima de 75 KW (1.07 Kg de O<sub>2</sub>/ KW h), generando una buena mezcla. Estos son utilizados en procesos de lodos activados de flujo continuo, rectores secuenciales por lotes, tanque de almacenamiento de lodos o incluso en tanques de regulación y pueden ser colocados en profundidades de 2 a 8 m.

El venturi-jet (Foto 5.14) es empleado para la agitación de aguas residuales que contengan basura, despojos, efluentes orgánicos industriales, lodos, etc., o puede ser colocado en tanques de regulación para prevenir condiciones anaerobias y malos olores. Puede ser empleado en trabajos de emergencia o de aeración intermitente.

Su diseño está basado en el principio de inyección que genera una mezcla efectiva aire agua creando una óptima aeración y suspensión de sólidos.



(FUENTE: Grupo ABS, 2009)

Foto 5.14 Aerador venturi-jet

## 5.4.2 AERADORES DE AIRE A PRESIÓN

Dentro de estos sistemas de aeración se encuentran los equipos sumergibles, los eyectores y los difusores.

### 5.4.2.1 AERADORES SUMERGIBLES

Este equipo de aeración es conocido en el mercado como aerador-mezclador OKI (Foto 5.15) y a continuación se detallan sus características:

- Requiere un suministro de aire a través de un soplador
- Puede operar de manera intermitente
- Proporciona aeración y mezcla al mismo tiempo
- No presenta taponamientos
- Puede trabajar en profundidades de más de 20 m
- Se puede sacar sin parar el proceso para darle mantenimiento
- Se puede suministrar sólo oxígeno
- Se puede emplear en diversos procesos biológicos



(FUENTE: Grupo ABS, 2009)

Foto 5.15 Aerador mezclador OKI

Dependiendo del modelo y las necesidades de aeración, existen en el mercado con capacidades de 3 a 37 KW con una transferencia de oxígeno de 19 a 200 Kg/h.

Este equipo no puede ser empleado en reactores que cuenten con un tirante de agua menor a 4 m, debido a que disminuye la transferencia de oxígeno y se incrementa el consumo de energía.

#### 5.4.2.2 AERADORES TIPO JET

Dentro de la categoría de estos equipos de aeración se encuentran los de una sola dirección, de dos direcciones y radiales.

Los de una sola dirección tienen un arreglo de boquillas lineal a lo largo del cabezal que transporta el agua, así el flujo es direccionado en un sólo sentido. Es ideal para instalaciones que se colocan en la pared o a lo largo del tanque (Foto 5.16). También pueden ser empleados en serie para tanques circulares (Foto 5.17).

El sistema puede ser empleado en zanjas de oxidación (Foto 5.18) y en lagunas de aeración. El hecho de que son boquillas colocadas sobre el tubo de descarga de agua permite realizar diversos arreglos, en serie para crear circulación de agua, encontrados para generar un movimiento circular.

Si existe un arreglo en serie en canales o zanjias, la descarga de la boquilla crea un movimiento que se combina con el anterior creando una corriente de agua y proporcionando un máximo mezclado.



Foto 5.16 Una dirección



Foto 5.17 En serie



Foto 5.18 Zanja de oxidación

Si cuenta con sistema bidireccional, en donde las boquillas están colocadas en ambos lados del cabezal del agua de entrada, las corrientes de agua fluyen al contrario, creando una buena mezcla y aeración en el tanque con el mínimo equipo (Foto 5.19).

Este sistema es empleado en procesos de lodos activados con tanques rectangulares o circulares, en donde el ancho o diámetro no debe ser superior a los 18 m.

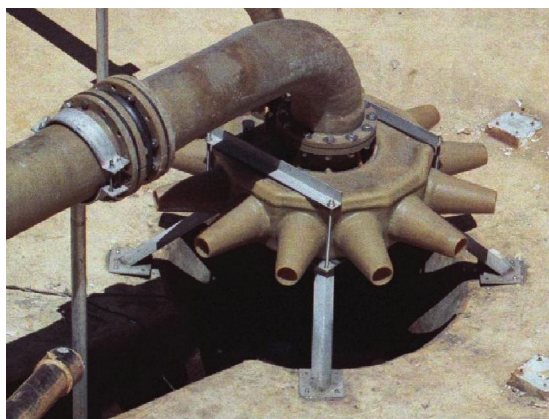


Foto 5.19 Aerador bidireccional en tanque circular

Otro tipo de aeradores son los que presentan un arreglo radial de boquillas alrededor de una cámara común Foto 5.20, que suministra aire y agua al mismo tiempo por la parte superior o el agua por la parte superior y el aire por abajo. Generalmente tienen 12 boquillas colocadas en un ángulo de 30 grados, que crean una pluma individual de mezcla.



Estos pueden ser instalados en tanques cuadrados o circulares sin afectar su desempeño y son empleados en procesos de lodos activados, digestión de lodos, recarbonatación y oxidación química.



(FUENTE: Mixing Systems, INC)

Foto 5.20 Aerador radial

#### 5.4.2.3 AERACIÓN POR DIFUSIÓN

La aeración por difusión ha sido empleada en tratamiento de aguas residuales desde principios del siglo pasado. Los primeros sistemas introducían aire a través de tubos abiertos o de tuberías perforadas colocadas en el fondo del tanque. El deseo de mejorar la eficiencia llevó al desarrollo de difusores de placa porosa que producen pequeñas burbujas obteniendo buenas eficiencias en la transferencia de oxígeno.

La aeración por difusión es definida como la inyección de gas (aire u oxígeno) a presión en un líquido.

La industria del tratamiento de aguas residuales ha introducido una gran variedad de equipos de difusión de aire, y su uso les ha ganado renovada popularidad debido a la relativamente alta eficiencia de transferencia de oxígeno mostrada. Se han utilizado numerosos materiales para su fabricación: rígidos de cerámica o plástico y flexibles de plástico. De acuerdo con su forma se pueden encontrar difusores de disco (Foto 5.21) tubo (Foto 5.22), panel (Foto 5.23) y placa (Foto 5.24).



Foto 5.21 Difusor de disco



Foto 5.22 Difusor de tubo



Foto 5.23 Difusor de panel



Foto 5.24 Difusor de placa

FUENTE: Grupo ABS, 2009

Actualmente la tendencia en el diseño de sistemas de aeración es el empleo de difusores de burbuja fina en forma de disco, así un diseño típico establece que la densidad de difusores, en relación al área, va del 2.5 al 25%. Una mayor densidad (Foto 5.25) favorece una mejor distribución de la burbuja (aire) (Foto 5.26) y por lo tanto una mejor mezcla.



Foto 5.25 Densidad de difusores



Foto 5.26 Distribución de burbuja



El tamaño de burbuja es muy importante ( Foto 5.27) debido a que entre mas pequeña sea, la velocidad ascendente de la misma será más lenta y por tanto su tiempo de residencia en el reactor será más grande, lo que beneficia a los microorganismos, ya que podrán aprovechar mejor el oxígeno suministrado. Para una burbuja de 5 mm de diámetro la velocidad ascendente es de 0.5 m/s, para una de 3 mm de 0.3 m/s y para una de 1 mm de 0.15 m/s.



Foto 5.27 Burbuja fina

Un sistema de aeración de burbuja fina esta compuesto por: un cabezal principal de distribución de aire, un cabezal de difusores, difusores, soportes para el montaje de cabezales, línea de cerrado de cabezales y línea de dren de agua ( Foto 5.28 a Foto 5.30)

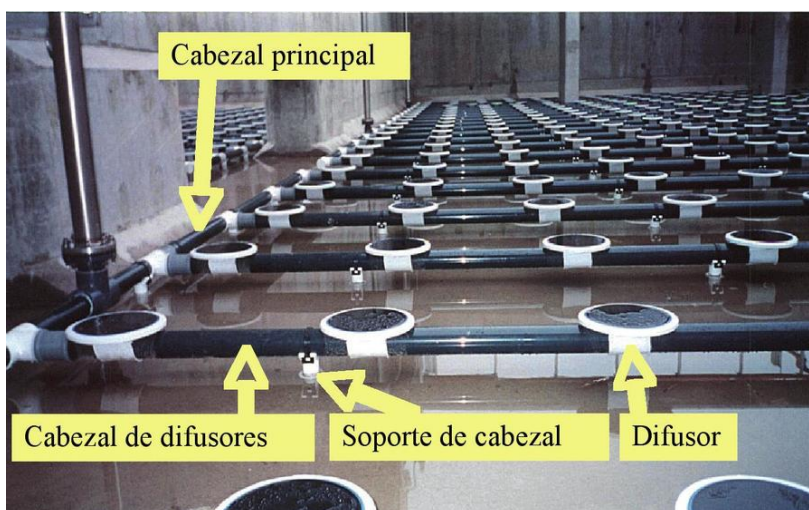


Foto 5.28 Componentes de un sistema de aeración

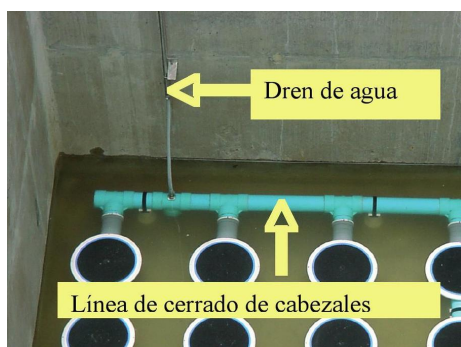


Foto 5.29 Línea de cerrado



Foto 5.30 Dren de agua

En la Tabla 5.2 se describen los principales factores que influyen en la transferencia de oxígeno cuando se emplean difusores.

Tabla 5.2 Factores que influyen en la transferencia de oxígeno con difusores

Factor	Influencia sobre la transferencia de oxígeno
<b>EQUIPO</b>	
Tipo de difusor	Los de burbuja fina tienen mejor transferencia de oxígeno que los de gruesa.
Densidad de difusores	Mayor número de difusores produce mayor transferencia de oxígeno
Sumergencia de los difusores	A mayor sumergencia mayor transferencia de oxígeno
Distribución de los difusores	Distribución en malla produce mayor transferencia que una colocada a lo largo de una pared o en el centro.
Vida útil del difusor	El envejecimiento de las membranas puede disminuir la transferencia de oxígeno
Régimen de flujo	Flujo pistón tiene mayor eficiencia de transferencia de oxígeno
Geometría del tanque	Tanques cuadrados tienen menor variación de transferencia de oxígeno que los rectangulares.
<b>OPERACIÓN</b>	
Tiempo de retención	A mayor tiempo de retención, mayor transferencia de oxígeno
Nitrificación	Sistemas nitrificantes requieren mayor transferencia de oxígeno
Relación A/M	El aumento de A/M disminuye la transferencia de oxígeno
Flujo de aire por el difusor	En burbuja fina, a mayor flujo de aire menor transferencia de oxígeno. En otro puede suceder lo contrario
Oxígeno disuelto	A mayor concentración de oxígeno disuelto menor transferencia de oxígeno
Deterioro del difusor	Los daños del difusor deterioran la transferencia de oxígeno
<b>CARACTERÍSTICAS DEL AGUA</b>	
Temperatura	Un incremento en la temperatura del agua disminuye la transferencia del agua
Detergentes	Disminuyen la transferencia de oxígeno.

FUENTE: Romero, 2005

### 5.4.3 SOPLADORES

Un soplador es un mecanismo de una o varias etapas diseñado para producir grandes volúmenes de aire o gas a una presión cercana a la atmosférica. Un compresor se clasifica como un mecanismo diseñado para producir pequeños volúmenes de aire a altas presiones. Ambas máquinas realizan la misma función; la aplicación y rangos de presión son la diferencia entre soplador y compresor.

Los sopladores son la mayor fuente de consumo de energía en plantas de lodos activados. Cualquier intento por minimizar el consumo de energía incide directamente en los costos directos de la planta. La adecuada operación de un soplador y el sistema de aeración pueden llevar a altas eficiencias en el uso de los equipos.

El soplador surgió del diseño de una rueda de agua creada por los hermanos Roots para su molino textil en 1854. El diseño original consistía de dos impulsores de madera girando uno en contra del otro dentro de una carcasa de madera. Al llenarse de agua, el aparato no pudo bombear ésta, pero al hacerla girar en seco, se dieron cuenta que movía una gran cantidad de aire y fue entonces que nació el soplador de desplazamiento positivo. Desde entonces, el diseño se convirtió en un invento para mover cantidades conocidas de aire, llamándosele soplador rotatorio de desplazamiento positivo.

Debido a que los hermanos Roots fueron los inventores, se le denominó técnicamente soplador de tipo Roots.

Existen dos tipos de sopladores comúnmente utilizados en plantas de tratamiento, los de desplazamiento positivo y los dinámicos. Los de desplazamiento positivo funcionan comprimiendo un volumen fijo de aire (gas) y encerrándolo para elevar la presión. Los dinámicos funcionan con impulsores que imparten velocidad y presión continua al aire. De estos los más empleados y/o fabricados son los de lóbulos y los centrífugos. Como su nombre lo indica, estas máquinas mueven el aire que queda atrapado entre los espacios que existen entre los elementos en rotación, rotores o impulsores. El aire es introducido a la máquina por efecto de la presión atmosférica y es llevado a través del espacio del rotor o impulsor hasta la carcasa (punto de descarga), donde se comprime para vencer la presión que se le está presentando.

Las moléculas de aire a presión atmosférica ocupan un volumen que varía de acuerdo al valor de ésta y al ser comprimidas, estas moléculas se aproximan más unas a otras, incrementándose la fricción entre ellas produciéndose un incremento de temperatura. Entre más próximas estén las moléculas unas por otras, mayor calor generado o sea que a mayor presión, mayor calor producido a la descarga del soplador.

Al realizarse esta compresión brusca, cada porción de aire que se desplaza entre la cavidad del rotor y la carcasa cambia bruscamente de volumen a la salida del soplador, siendo tan rápido este cambio que se alcanza una velocidad supersónica produciéndose el sonido característico de cuando se rompe la barrera del sonido. Esta es la causa de que estas máquinas sean muy ruidosas y se requieran de silenciadores en la succión y en la descarga de estas.

Como desplazan un volumen constante de aire por cada revolución de los rotores, se les denomina máquinas de desplazamiento positivo. A mayor velocidad, mayor desplazamiento. En este punto, podemos resumir lo siguiente:

- A mayor presión en la descarga del soplador, mayor temperatura
- A mayor presión en la descarga del soplador, mayor ruido
- A mayor velocidad de giro de los rotores, mayor desplazamiento de aire.

Estos conceptos son útiles para determinar la correcta selección del soplador. Las aplicaciones más comunes son:

- Plantas de tratamiento de agua residual
- Plantas de tratamiento de agua potable
- Descarga de camiones de productos a granel (cemento, pellets de plástico)
- Colectores de polvo
- Supercargadores para motores de combustión interna
- Lavado de alfombras
- Petroquímica
- Cervecerías
- Mataderos y procesamiento de aves
- Lecherías en máquinas de ordeño
- Muchas más donde se requiera de aire limpio, sin aceite a presiones moderadas

Se debe comprender que no existe una máquina a prueba de fallos debidos a causas ajenas a la misma, por tal motivo el proceso de selección es de extrema importancia para lograr la selección de un equipo que dé una larga vida de trabajo sin problemas.

Para una correcta selección del equipo se requieren los siguientes datos:

1. Altitud sobre el nivel del mar a la que se va a instalar el soplador.
2. Temperatura **máxima** del lugar de trabajo.
3. Temperatura del aire a la entrada del soplador.
4. Presión requerida a la descarga del soplador.

Condiciones estándar a las cuales todos los sopladores están referidos:

1. Temperatura: 20°C
2. Presión: 14.7 psia ó 0 psig a nivel del mar. **psia**: Presión Absoluta, a partir del cero absoluto; psig son medidas a partir de la presión atmosférica.
3. Altitud: a nivel del mar

Todos estos datos son necesarios para hacer una correcta selección de un soplador pero todo esto no sirve si no son correctos.

Los fabricantes de sopladores han desarrollado programas de selección que incluyen todos los parámetros anteriores facilitando, así el cálculo para obtener el equipo adecuado a las necesidades requeridas, un ejemplo es, el programa BlowerXpert de la empresa Tuthill corporation que es gratuito. Fuente: <http://www.conferencefair.com>, Conference Fair 2008.

Una vez que se conozcan los datos del soplador específico se puede calcular el flujo necesario para transferir toda clase de gases bajo varias condiciones operativas. Cada vuelta del rotor produce el desplazamiento y la compresión del llamado volumen del cangilón  $q_o$  (litro/vuelta). El volumen de cangilón muestra una constante para cada tamaño del soplante y soplador. Esto produce una capacidad teórica.

$$Q_o = \frac{nq_o}{1000} \text{ (m}^3/\text{min)}$$

La capacidad actual se obtiene de la deducción de la cantidad de gas  $Q_v$  menos los espacios de la capacidad teórica:

$$Q_1 = Q_v - Q_o \text{ (m}^3/\text{min)}$$

La eficiencia volumétrica es:

$$\eta_v = \frac{Q_1}{Q} = 1 - \frac{Q_o}{Q_v}$$

La eficiencia bajo las condiciones de funcionamiento es muy favorable, ya que las tolerancias de los rotores se mantienen muy ajustadas.

El volumen de rendimiento varía muy poco con los cambios de carga. La potencia necesaria para comprimir el gas en condiciones de entrada es, teóricamente:

$$P_{th} = \frac{Q_o \Delta p}{600}$$

Esta potencia se debe incrementar para compensar la fricción mecánica en los cojinetes, engranajes de sincronismo, componentes herméticos, así como las pérdidas dinámicas que ocurran en la entrada y salida del soplador y la cámara de transporte. La potencia necesaria en el acoplamiento del soplador es:

$$P_k = P_{th} + P_v \text{ (kW)}$$

La potencia teórica es independiente del tipo de gas implicado y directamente proporcional al diferencial de presión y la velocidad del soplador. La potencia absorbida



cuando funciona sin carga es casi igual a la pérdida de potencia  $P_v$ , ya que no interviene ninguna compresión interna.

Esto representa aproximadamente el 3 al 5% de la potencia de carga completa transmitida por medio del acoplamiento.

Debido a la suma de todas las tolerancias de fabricación, el consumo de potencia y el volumen de corriente de consumo puede mostrar una tolerancia de  $\pm 5\%$ .

La reducción de ruido para los sopladores de émbolos rotativos es necesaria debido a las necesidades cada vez más severas de medio ambiente. Para reducir el ruido desde el origen se han desarrollado los sopladores trilobulares.

El fin se logró mediante el desarrollo de los sopladores de émbolos rotativos con reducción de pulsación integrada. El soplador se equipó con el canal de pre-entrada cuyo tipo, tamaño y posición se ha determinado de forma experimental.

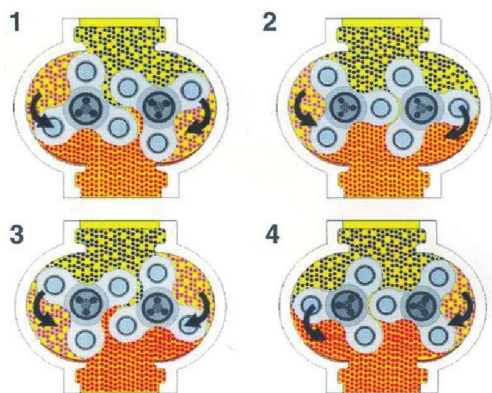
Con los émbolos rotativos trilobulares se producirá una entrada más suave hacia la parte de impulsión y el pulso habitual de la corriente de retorno alcanza la cámara de transporte de forma un poco más débil.

Pero todavía existe una segunda fuente de ruido en los sopladores. Es el llamado pulso de presión que aumenta cuando el pistón principal de uno de los émbolos desciende en la pendiente del otro. Debido a la posición y la forma de la pre-entrada de las cámaras, la posición de fase y la amplitud se pueden conectar con el fin de que se solapen la una a la otra. Naturalmente, esto en la práctica no se puede conseguir al 100%. Sin embargo, las pruebas han demostrado que se ha alcanzado una reducción de ruido de 20dB.

#### 5.4.3.1 SOPLADORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

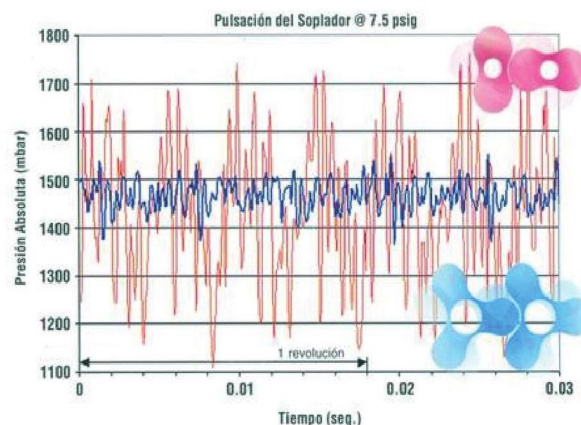
El principio de operación en este tipo de sopladores es que dos o tres impulsores lobulares en forma de ocho tréboles montados en ejes paralelos rotan en direcciones opuestas. Cuando cada impulsor pasa el área de entrada, el impulsor atrapa un volumen definido de aire y lo lleva dentro de la carcasa hasta la salida del soplador en donde el aire es descargado (Figura 5.26). Con operación de velocidad constante el volumen desplazado es esencialmente el mismo sin tener en cuenta presión, temperatura, o presión barométrica. Engranajes de sintonía controlan las posiciones relativas de los impulsores y mantienen pequeños pero distintos intersticios. Esto permite la operación sin la necesidad de lubricación dentro de la carcasa de aire.

La configuración de tres lóbulos provee pulsaciones reducidas y menores niveles sonoros (Figura 5.27), mientras la versión de dos lóbulos provee una eficiencia ligeramente mayor y montaje versátil.



(FUENTE: Kaeser)

Figura 5.26 Principio de operación



(FUENTE: Kaeser)

Figura 5.27 Pulsaciones relativas

Los sopladores de desplazamiento positivo son los caballitos de batalla de la industria. La mayoría de las plantas de aguas residuales pequeñas y medianas operan con sopladores de desplazamiento positivo, los cuales tienen un rango útil de 2500 Scfm (4300 Sm<sup>3</sup>/h) por soplador a presiones de 14,5 psia (1 Bar). (Foto 5.31).

Los sopladores de desplazamiento positivo (PD) pueden ser relativamente ruidosos y no requieren de mantenimiento regular para lubricación de cojinetes, cambio de cartuchos de filtros de entrada, tensionado y reemplazo de correas. El ruido del soplador puede ser reducido a través del uso de cabinas acústicas y silenciadores de cámara adecuadamente seleccionados, aunque se debe tener en mente el ruido aéreo que puede aparecer en la tubería del área de trabajo a velocidades de flujos y niveles de pulsación más altos. Fuente: <http://www.stamfordscientific.es>

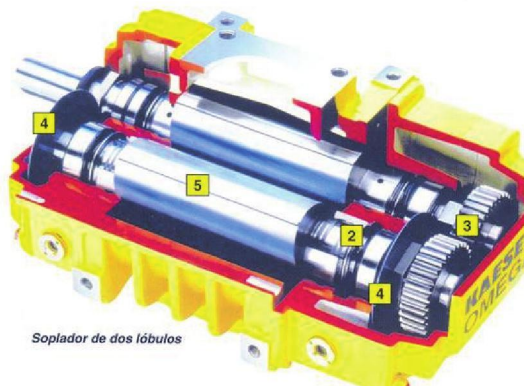
A continuación se describe la operación de un soplador de desplazamiento positivo de la marca Kaeser, (Figura 5.28 y 5.29), así como los componentes del mismo y en la Tabla 5.3 las especificaciones de operación de algunos modelos.



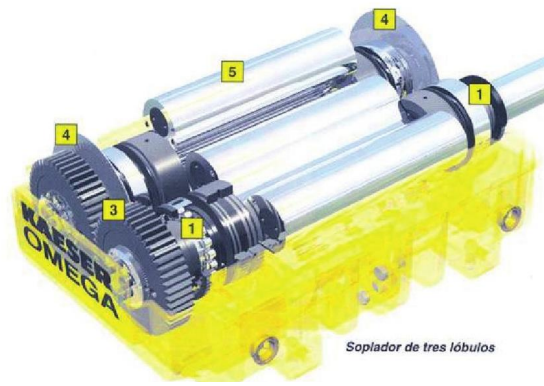
(FUENTE: IMPEL de México)

Foto 5.31 Sopladores de lóbulos en operación

1. El aire es aspirado y filtrado a través del filtro silenciador de admisión (1).
2. El aire ingresa al soplador (2) donde es atrapado entre los lóbulos de los rotores y la carcasa y es desplazado al puerto de descarga. El diseño de tres lóbulos minimiza las pulsaciones y además la carcasa posee puertos para equalizar la presión.
3. El auto tensionador (3) da la tensión apropiada a las bandas (4) para prolongar la vida de los rodamientos.
4. El silenciador de descarga absorbe pulsaciones residuales y ruido a través de una amplia banda de frecuencias.
5. Una válvula de arranque en vacío opcional (5) permite la aceleración del motor (6) antes que el sistema sea presurizado y reduce el impacto a equipos y procesos bajo agua.
6. Una válvula de alivio (7) protege al soplador de sobre presurización.
7. Una válvula de retención previene el retorno del flujo del gas de proceso.
8. Una sólida base metálica (8) permite el manejo fácil.



Soplador de dos lóbulos



Soplador de tres lóbulos

1. Rodamientos
2. Sellado tipo anillo de pistón
3. Engranajes
4. Lubricación por salpicadura
5. Rotores

Figura 5.28. Operación y descripción de un soplador de DP.

1. Filtro de admisión lavable
2. Silenciador
3. Indicador de contaminación del filtro
4. Soplador rotativo
5. Base
6. Combinación de silenciador de descarga/atenuador de pulsaciones
7. Montaje antivibratorio
8. Bastidor oscilante para el motor
9. Auto tensionador de bandas
10. Motor
11. Conector flexible (no mostrado)
12. Ductos de acero inoxidable para el drenado de aceite con válvulas tipo bola



Figura 5.29. Componente de un soplador rotativo.

Tabla 5.3 Especificaciones de rendimiento

Modelo	Con.	RPM	4 psig		6 psig		8 psig		10 psig		12 psig	
			cfm	bhp	cfm	bhp	cfm	bhp	cfm	bhp	cfm	bhp
Soplador Omega de dos lóbulos												
Omega 21	2" NPT	2000	47	1.4	43	2.0	39	2.6	36	3.2	-	-
		3200	87	2.2	83	3.1	79	4.0	76	5.0	73	5.9
		4400	127	3.0	123	4.2	119	5.5	116	6.8	113	8.1
		5600	167	3.8	163	5.4	159	7.0	156	8.7	153	10.3
Omega 42	4" NPT	1000	102	2.9	92	4.1	84	5.4	76	6.7	70	8.0
		2000	248	5.5	238	8.1	230	10.6	222	13.2	216	15.7
		3600	481	10.0	471	14.6	463	19.1	456	23.7	449	28.3
		4400	598	12.3	588	17.9	580	23.5	572	29.1	566	34.7
Omega 83	12" FLG	1200	2579	53.4	2521	78.1	2473	102.9	2430	127.6	2391	182.3
		1500	3288	67.2	3230	98.2	3182	129.1	3139	160.0	3100	190.9
		1800	3996	81.6	3939	118.7	3890	155.8	3847	192.9	3808	229.9
		2000	4469	91.7	4411	132.9	4362	174.1	4320	215.3	4281	256.5
Soplador Omega de dos lóbulos												
Omega 21P	2" NPTF	2000	42	1.6	38	2.1	34	2.6	31	3.2	-	-
		3200	78	2.4	74	3.2	71	4.1	67	4.9	65	5.8
		4400	115	3.2	111	4.4	107	5.6	104	6.7	10	7.9
		6200	169	4.7	165	6.3	162	8.0	159	9.6	156	11.2
Omega 42P	2" NPTF	1000	131	4.0	117	5.6	106	7.3	97	8.9	88	106
		2000	320	7.6	307	10.9	296	14.2	286	17.5	277	208
		3200	547	12.5	534	17.8	523	23.1	513	28.4	504	3307
		4500	793	18.7	780	26.2	769	33.6	759	41.0	750	48.4
Omega 84P	12" ANSI FLG	1200	2516	53.6	2448	78.2	2390	102.8	2340	127.4	2294	151.9
		2000	4396	99.4	4328	140.4	4270	181.4	4219	222.4	4171	263.1
		2500	5570	133.7	5502	184.9	5445	236.2	5394	287.4	5349	338.3

Con.: Conexión, RPM: revoluciones por minuto., cfm: pies cúbicos por minuto., bhp: brakehorsepower (potencia al freno), NPT: rosca americana cónica para tubos., NPTF: rosca americana cónica dryseal para tubos., PSIG: presión manométrica.

FUENTE: Kaeser Compresores



Las especificaciones nominales están con aire de entrada a una temperatura estándar de 20°C, presión de 1 atm y una gravedad específica de 1.

#### 5.4.3.2 SOPLADORES CENTRÍFUGOS

Los sopladores centrífugos multietapa son recomendables para plantas más grandes que requieren más de 2500 Scfm (4300 Sm<sup>3</sup>/h). Los sopladores centrífugos multietapa operan con relativo silencio comparado con los sopladores PD, con mantenimiento similar, ya que todo está relacionado con la lubricación y los filtros, aunque generalmente son de impulsión directa vs los PDs que son impulsados por bandas (Fuente: <http://www.stamfordscientific.es>).

A continuación se describe la operación de un soplador centrífugo de la marca Gardner Denver (Figura 5.9), así como los componentes del mismo (Tabla 5.4).

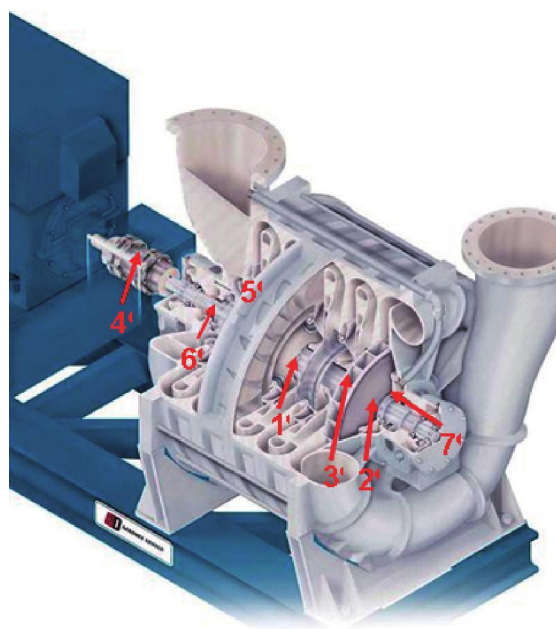





Figura 5.29. Compresor centrífugo.



Tabla 5.4 Componentes de un soplador centrífugo

<p><b>1. Anillos Baffle multiple</b></p> <p>Muchos modelos tienen nuestros anillos Baffle Multiple (MBR™) que ayudan al aire a fluir suavemente dentro del ojo de la propela, reduciendo dramáticamente las pérdidas en la entrada. MBR combinado con el diseño de propela doble-dimensional se incrementa la eficiencia y la capacidad de presión/vacío.</p>	
<p><b>2. Pistón de balance</b></p> <p>Un pistón de balance se coloca al final del conjunto de propelas para compensar la fuerza axial de las propelas en el rodamiento interno. Esto incrementa en gran medida la vida del rodamiento trabajando sin problemas.</p>	
<p><b>3. Propelas cubiertas multietapa</b></p> <p>Propelas de aluminio doble dimensional cubiertas son balanceadas individualmente y fijadas al eje por medio de cuñas. El ensamble completo se balancea para alcanzar una suave operación con la más baja vibración en la industria. El conjunto del rotor esta diseñado para operar bien bajo velocidades críticas agregando confiabilidad.</p>	
<p><b>4. Juntas flexibles</b></p> <p>Sopladores/extractores se conectan directamente a la fuente de poder con un acople flexible alineado en forma precisa.</p> <p>Esto optimiza la transferencia de poder y minimiza la carga sobre los rodamientos.</p>	

<p><b>5. Carcasa fundida</b></p> <p>Las carcasas de los sopladores son fabricados de hierro fundido de alto grado. Modelos más pequeños son de aluminio. Las secciones intermedias del soplador son ensambladas usando barras de acero de alta dureza. El soplador y su motor son acoplados juntos en una base única de acero. Esto para asegurar una mayor durabilidad y un mejor desempeño.</p>	
<p><b>6. Sellos laberinto</b></p> <p>Sin contacto, los sellos de aire tipo laberinto son estándar. Este sello libre de mantenimiento se usa en la mayoría de aplicaciones de aire y algunas de gas (opción de purga disponible).</p>	
<p><b>7. Sello con anillo de carbón</b></p> <p>Para aplicaciones especiales de aire o gas donde requieren un mejor sellado, los sellos de carbón son opcionales con alternativa de purga.</p>	

Fuente: <http://www.gardnerdenver.com>  
<http://www.pronesa.com/partes.pdf>

Para poder operar y realizar un control adecuado de los procesos de tratamiento biológico es indispensable entender que este es un sistema que tiene vida y que responde a cualquier cambio, ya sea físico o químico, como cualquier organismo vivo.

Es así que un proceso de lodos activados está constituido por microorganismos o por conglomerados bacterianos que forman flóculos, es por esto el nombre de activado, y el de lodo por el aspecto de color café.

El flóculo además de microorganismos está constituido por materia (coloidal o suspendida) orgánica e inorgánica que ha sido adsorbida y absorbida posteriormente, ya que éste es poroso.

En la Figura 6.1 se muestra lo que ocurre, en condiciones ideales, en un reactor biológico por lotes. Así, se tiene que lo primero que se da en cualquier sistema biológico es la adsorción, una vez que ha sido cubierta esta capacidad del flóculo, es que inicia un

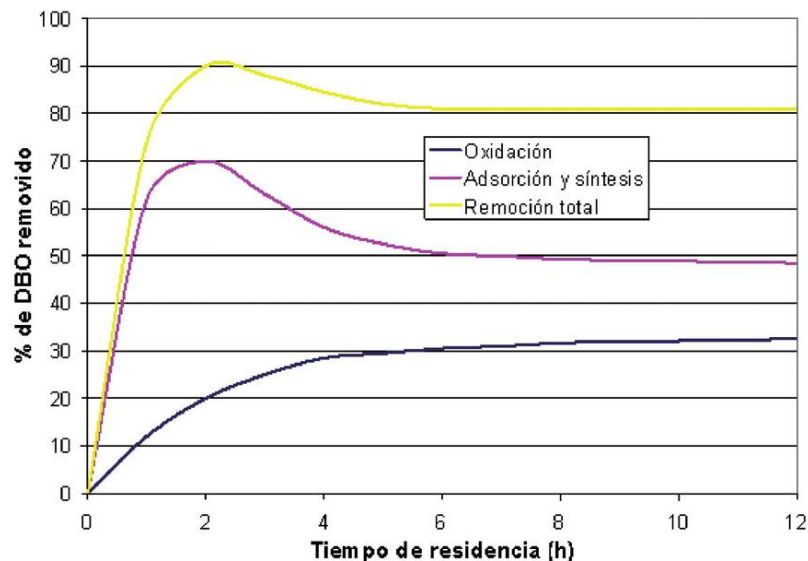


Figura 6.1 Principales mecanismos en la remoción de materia orgánica.

proceso de absorción, síntesis y oxidación de la materia orgánica. Aunque algunas moléculas más complejas son descompuestas por la acción de enzimas segregadas por las bacterias, antes de ser absorbidas, es posible que exista una porción imposible de ser absorbida y permanezca en el flóculo como materia inerte. Todo lo anterior sucede bajo condiciones aerobias. La suma de la adsorción, absorción, síntesis y oxidación proporciona la remoción total de materia orgánica.

Esto hace a los microorganismos el factor más importante en el proceso de lodos activados, al estabilizar la materia orgánica y producir nuevos flóculos. Sin embargo, éstos dependen para su buen desarrollo del tipo y concentración de alimento, cantidad de oxígeno suministrado y de la mezcla que origine éste en el reactor, así como del tiempo en que están en contacto con el oxígeno y el alimento, otro factor importante es la temperatura, la cual puede aumentar o disminuir la actividad microbiana y por último la cantidad de microorganismos presentes en el sistema, ya que es importante guardar una buena relación con el alimento suministrado.

Todo lo anterior lleva a resumir que el proceso de lodos activados se desarrolla de la siguiente manera. El agua residual con una concentración de materia orgánica propia es vertida a un reactor biológico, en donde las bacterias la metabolizan mediante el empleo de oxígeno, produciendo nuevas bacterias y generando dióxido de carbono, agua y nitrógeno amoniacal. Sin embargo, una parte de las bacterias muere y libera su contenido celular, que es utilizado por otras bacterias y otra parte lo constituye el producto celular no biodegradable. Toda esta mezcla, conocida como sólidos suspendidos en el licor mezclado (SSLM), es recibida en un sedimentador secundario, en donde el agua tratada es clarificada y una parte de los flóculos son recirculados al tanque de aeración y otra se retira o desecha formando el lodo residual.

Ahora bien, el tipo y la cantidad de microorganismos presentes en el sistema de lodos activados puede ayudar a entender las diferentes condiciones de operación que se presentan. En la Figura 6.2 se muestra el desarrollo de los diferentes microorganismos a lo largo del tiempo, tomando en cuenta condiciones ideales y un reactor biológico por lotes. Es importante aclarar que la escala no es real, debido a que el número de bacterias presentes es mucho mayor a la de los rotíferos.

En la Figura 6.2 se señalan diferentes etapas que a continuación se describen, (*letras mayúsculas*):

- A. El proceso inicia al agregarse el agua residual al reactor biológico e inicia la aeración. No existe ningún predominio de microorganismos. Bajo estas condiciones existe presencia de espuma blanca.
- B. La *Sarcodina*, organismo primitivo, alcanza su número máximo cuando el alimento es abundante. Esto sucede cuando el proceso de lodos activados arranca.

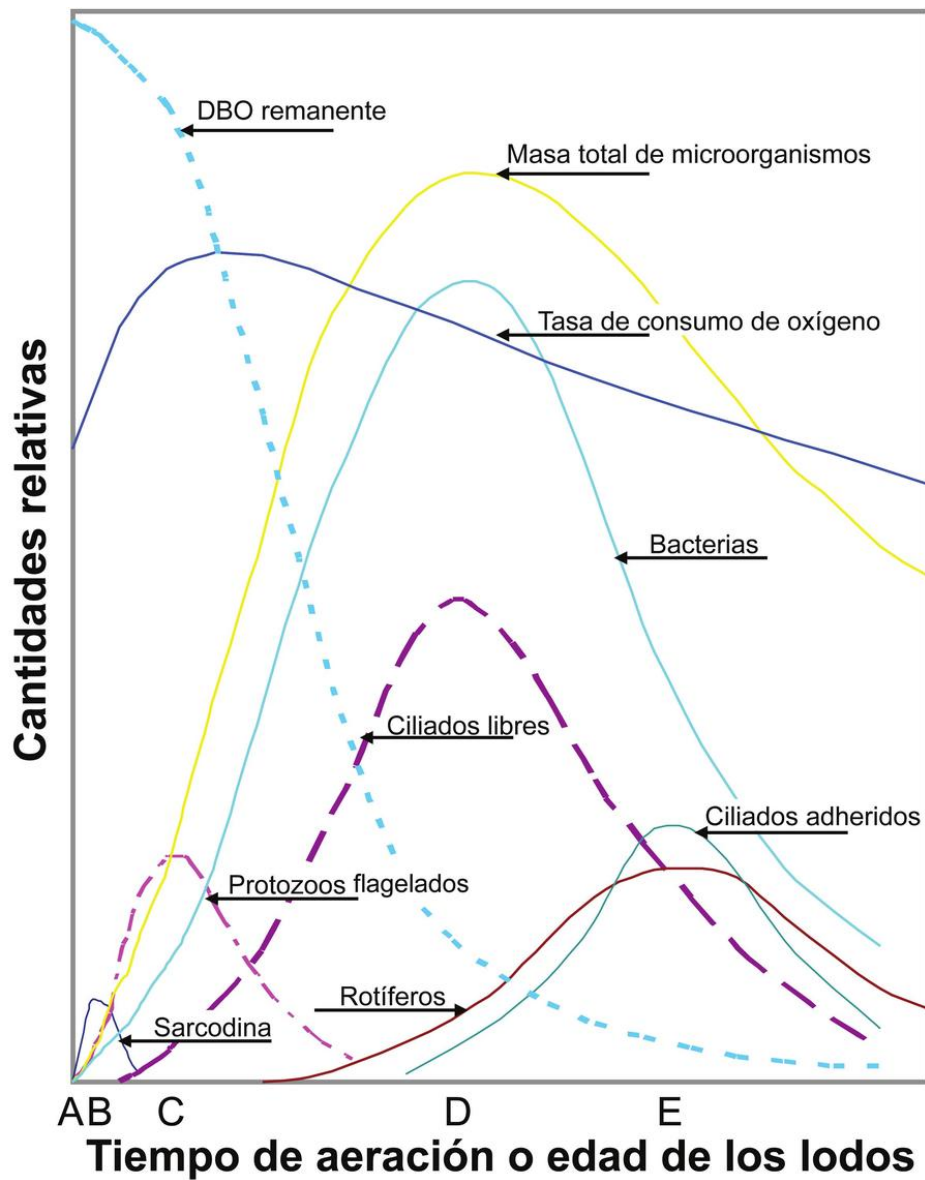


Figura 6.2 Desarrollo de microorganismos

- C. Los protozoos flagelados alcanzan su número máximo. Estos son mucho más activos y consumen el alimento a una mayor velocidad. El color de la espuma en el reactor empieza a tener una coloración de café tenue y en una prueba de sedimentabilidad se apreciaría un efluente turbio, dado que es un lodo joven que aun no ha constituido flóculos fuertes.
- D. Los ciliados libres y las bacterias alcanzan su número máximo. Estos subsisten con una menor cantidad de alimento que los protozoos flagelados. Esta zona de operación es la que corresponde a un sistema convencional de lodos activados. Las bacterias



hacen uso de la adsorción para atrapar partículas pequeñas, mediante una película pegajosa, y emplean enzimas para desdoblar las partículas y las absorben.

- E. Predominan los ciliados adheridos y los rotíferos. No existe suficiente alimento por lo que se alimentan de bacterias. Varios tipos de bacterias mueren por inhibición. Se entra en una etapa de respiración endógena, que es característica de un proceso de aeración extendida de lodos activados. Los microorganismos emplean sus reservas alimenticias para subsistir, reducen su actividad y la generación de nuevas bacterias. La presencia de pocas bacterias provoca un flóculo con apariencia granular de color café oscuro, con una sedimentabilidad alta, sin embargo, el efluente presenta sólidos suspendidos por falta de bacterias. La remoción de la DBO será alta.

Es importante recordar en este punto que el proceso de lodos activados es aerobio y que responde a cualquier cambio físico y/o químico, (adaptado de Romero, 2005).

## 6.1 INDICADORES DEL PROCESO

El estudio realizado por la CONAGUA sobre el inventario de plantas de tratamiento arroja datos significativos: más del 50% de las plantas inventariadas no operan o requieren rehabilitación, y del 50% que están en operación seguramente un alto porcentaje se encuentra en malas condiciones de operación y mantenimiento, por lo que se supone que no cumplen con los parámetros fijados por las autoridades para sus efluentes.

De aquí, se ve la necesidad de contar con programas de mantenimiento y operadores bien capacitados para mejorar la eficiencia de las plantas, ya que cualquiera puede abrir o cerrar una válvula, arrancar o parar una bomba, pero sólo un operador capacitado sabrá CUANDO abrir o cerrar una válvula o CUANDO arrancar o parar una bomba, y CUANDO y CUANTO se debe recircular y purgar. Por lo que, una planta de aguas residuales es tan eficiente como lo son sus operadores. Pero para que esto sea totalmente válido se requieren apoyos de otras áreas, principalmente económicos.

Para conocer realmente el proceso, su problemática y soluciones, es necesario que la planta sea observada y operada adecuadamente, esto representa la diferencia entre una planta por donde sólo pasa el agua, y otra en donde se trata el agua.

Por esto es necesario observar y operar adecuadamente cualquier proceso biológico de tratamiento. El de lodos activados requiere también de una supervisión continua para conocer las posibles causas de un mal funcionamiento, para determinar los parámetros de operación y conocer las eficiencias del proceso o de la unidad que lo compone.

A continuación se presentan dos métodos de monitoreo: el sensorial y el analítico; ambos son usados para operar con mayor eficiencia una planta de tratamiento de lodos activados.

6.1.1 INDICADORES SENSORIALES

Un operador puede usar indicadores sensoriales para conocer las condiciones de funcionamiento de su planta de tratamiento y proceder a su adecuada operación. Los indicadores sensoriales más comunes en sistemas de lodos activados son los que se presentan en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Indicadores sensoriales

Color Olor Espumas Algas	Aerosoles en aeradores Burbujeos Material flotante	Acumulación de sólidos Trayectoria de flujos Turbulencias Tacto
-----------------------------------	--	--

6.1.1.1 COLOR

El color puede ser indicativo de un lodo viejo o de uno saludable; un lodo activado aerado en buenas condiciones presenta un color café achocolatado. Un lodo oscuro o negro podrá indicar que no se transfiere el suficiente oxígeno al tanque de aeración y que el lodo es anaerobio.

Ahora bien, es importante que el operador se familiarice con la modalidad del proceso de lodos activados y con el color del licor mezclado de su proceso, ya que las condiciones ambientales y de alimento le darán diferente tono de color café. Así, en un proceso convencional, donde la biomasa se reproduce más rápidamente, el color será café claro (Foto 6.1), pero en uno de aeración extendida será un café más oscuro (Foto 6.2), en este punto es importante no confundir con un lodo viejo.



Foto 6.1 Convencional



Foto 6.2 Aeración extendida



Foto 6.3 Color diferente de agua residual

Un color poco usual que se observe en el influente (Foto 6.3) o en el tanque de aeración puede indicar alguna sustancia extraña descargada en el sistema recolector de agua residual, por ejemplo, colorante de la industria textil o sangre de un rastro.

#### 6.1.1.2 OLOR

El olor puede indicar si el proceso de tratamiento está trabajando bien. Una planta bien operada no debe generar olores desagradables, excepto en el cárcamo de llegada, el cual puede ser eliminado si se acondiciona con una preaeración, por ejemplo, con burbuja gruesa o con una recirculación de agua cruda.

Una muestra de lodos activados (licor mezclado) saludable del tanque de aeración tiene un ligero olor a humedad; si el lodo se vuelve séptico, su color cambia a oscuro y el olor irá aumentando hasta ser similar al del huevo podrido (ácido sulfhídrico gaseoso).

#### 6.1.1.3 ESPUMA Y NATAS

La espuma indica que los niveles de sólidos no son adecuados, o bien que el lodo no tiene la edad requerida.

El tipo de espuma es indicador de las condiciones de operación de la planta de tratamiento y se relaciona directamente con la presencia o ausencia de microorganismos.

La formación de espuma blanca en el tanque de regulación, en el reactor biológico y en el efluente de la planta indica alta concentración de detergentes (Foto 6.4), y en condiciones específicas en el arranque de una planta, aunque en condiciones extremas puede indicar ausencia total de microorganismos en el sistema. Este tipo de espuma regularmente se presenta en los reactores por las mañanas y con un mayor impacto en épocas de invierno, debido a que la actividad metabólica de los microorganismos es afectada por la temperatura y no degradan los detergentes.

Si la espuma persiste en el día en grandes cantidades en el tanque de aeración, pero es de un color café claro (Foto 6.5), es signo de que el lodo activado es demasiado joven, esto es característico en los inicios de la estabilización de una planta de tratamiento, por lo que se debe aumentar la recirculación de lodos.



Foto 6.4 Detergentes



Foto 6.5 Lodo joven

Una espuma espesa y de color café oscuro (Foto 6.6) es indicativo de presencia de grasas que aglomeran y encapsulan a los microorganismos y los hacen flotar, repercutiendo en la eficiencia del proceso.

La presencia de natas (Foto 6.7) puede deberse en algunas ocasiones a sustancias químicas descargadas al sistema de tratamiento que provocan una mortandad de microorganismos que flotan en la superficie del sedimentador.

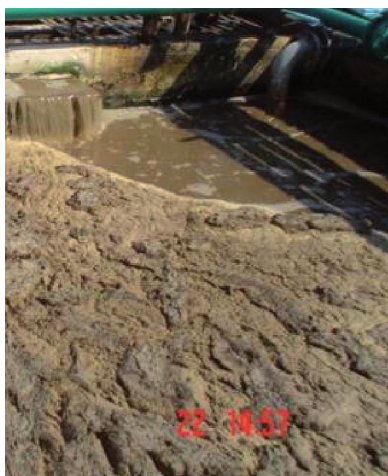


Foto 6.6 Grasas



Foto 6.7 Natas



#### 6.1.1.4 ALGAS

El excesivo crecimiento de algas en las paredes de los tanques o en las canaletas recolectoras (Foto 6.8) significa que el influente a la planta tiene altos niveles de nutrientes.

Las algas necesitan nitrógeno y fósforo para crecer y algunas formas de algas tienen la habilidad de tomar el nitrógeno de la atmósfera; esto quiere decir que aun con poco nitrógeno y alto contenido de fósforo se pueden presentar problemas de algas.

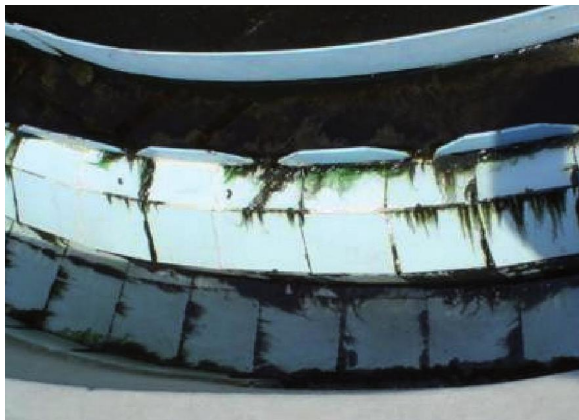


Foto 6.8 Algas en canaletas

#### 6.1.1.5 AEROSOLAS EN AERADORES

Los aeradores mecánicos fijos o flotantes deben sumergirse a una profundidad adecuada; si existe poco rocío del aerador, significa que el nivel de sumergencia no es adecuado (Foto 6.9). Bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el tanque pueden deberse a esta misma causa.



(FUENTE: Grupo ABS)

Foto 6.9 Aerador superficial



Por otra parte, es importante hacer notar que demasiados aerosoles puede ocasionar problemas a la salud de los operadores, por lo que es conveniente siempre observar los aeradores con el viento en contra para evitar salpicaduras.

#### 6.1.1.6 TURBIEDAD DEL EFLUENTE

Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario es una indicación obvia del mal funcionamiento de la planta (Foto 6.10). Sin embargo, este problema, a menudo es observado solamente hasta que se tienen resultados analíticos del efluente.

Si el arrastre de sólidos se presenta solamente en una sección de la canaleta, es probable que se tengan cortocircuitos en el sedimentador o que los vertedores estén desnivelados. Si el arrastre ocurre a lo largo de toda la canaleta (y vertedores), es indicativo de que el lodo tiene propiedades de sedimentación muy pobres.

En la práctica una turbiedad del agua clarificada menor de 5 UNT, indica una excelente operación, de 5 a 10 UNT se considera una buena operación y mayor a 10 UNT una regular operación con indicios de problemas.



Foto 6.10 Sólidos en el efluente del sedimentador

#### 6.1.1.7 BURBUJEO

Las burbujas en el sedimentador secundario denotan que el lodo está siendo retenido durante mucho tiempo y que se debe incrementar la recirculación.

Lo primero que sucede es que el lodo (microorganismos) empieza a desnitrificar, notándose un ligero burbujeo debido al nitrógeno gas que es liberado y que arrastra lodo de color café (Foto 6.11).

Si el manto de lodos es demasiado profundo, el lodo en las capas más profundas se convertirá en anaerobio (séptico) y producirá ácido sulfhídrico, metano y dióxido de carbono, que al desprenderse como gas formará burbujas (Foto 6.12) y arrastrará hacia la superficie lodo de color negro (Foto 6.13).

Este problema no es único del sedimentador, si no se tiene cuidado con la limpieza de canales, desarenadores (Foto 6.14) y del tanque de contacto de cloro, en éstos se presentará acumulación de sólidos y por tanto condiciones anaerobias que generarán burbujas y arrastre de sólidos.



Foto 6.11 Desnitrificación



Foto 6.12 Burbujas de gas



Foto 6.13 Condiciones anaerobias



Foto 6.14 Flotación de sólidos

#### 6.1.1.8 MATERIAL FLOTANTE

El material flotante o capa de lodos del sedimentador secundario es indicador de altas concentraciones de grasas y aceites en el influente a la planta; esto interfiere con la sedimentación secundaria y puede causar bajas eficiencias de remoción de  $\text{DBO}_5$ .

Una capa de nata en el sedimentador significará que se está inyectando demasiado aire y que las burbujas formadas arrastran los flóculos fuera del sedimentador (Foto 6.15).



Foto 6.15 Arrastre de flóculos hacia la superficie

#### 6.1.1.9 ACUMULACIÓN DE SÓLIDOS

La acumulación de sólidos, sobre todo en las esquinas (Foto 6.16), en zonas intermedias entre aeradores o zonas profundas (Foto 6.17), indica un mezclado ineficiente del licor mezclado del tanque de aeración. Este problema puede identificarse muestreando el tanque con equipo para pruebas de fondo, o con un palo para sentir los depósitos de lodo.

Los montículos de lodos y arena depositados pueden ser causados también por la operación ineficiente en los canales desarenadores (Foto 6.18) y sedimentadores primarios, lo que permite que la arena llegue hasta el aerador, y si no se tiene cuidado este problema también se puede presentar en el tanque de contacto de cloro (Foto 6.19).

La acumulación de sólidos es indeseable porque reduce el volumen efectivo de las unidades de operación, por tanto, afecta la eficiencia del proceso. Los montículos de lodos dan como resultado zonas de actividad anaerobia que se traducirán en problemas de sedimentación y olor.





Foto 6.16 Tanque de regulación



Foto 6.17 Reactor



Foto 6.18 Desarenador



Foto 6.19 Tanque de contacto de cloro

#### 6.1.1.10 TRAYECTORIA DE FLUJOS

Los cortocircuitos en tanques es otro problema que algunas veces se detecta visualmente. Un cortocircuito se presenta cuando el influente pasa al tanque directamente de la estructura de entrada a la estructura de salida; esto lleva a la reducción de tiempos de retención por debajo de los de diseño, o sea una pobre operación.

Algunos cortocircuitos se detectan al observar como se mueve la espuma del aerador (Foto 6.20), los sólidos suspendidos o el material flotante. La colocación de mamparas, a menudo elimina este problema.



Foto 6.20 Trayectoria de espuma

#### 6.1.1.11 TURBULENCIA Y MEZCLA

La turbulencia en el tanque de aeración puede usarse para identificar problemas; un tanque completamente mezclado debe presentar una turbulencia homogénea (Foto 6.21 y Foto 6.22).



(FUENTE: ABS, 2009)

Foto 6.21 Tanque circular



(FUENTE: ABS, 2009)

Foto 6.22 Tanque rectangular



Es deseable que un tanque de aeración este completamente mezclado para evitar que las bacterias sedimenten, también es importante mantenerlas en movimiento para que entren en contacto con la materia orgánica de las aguas residuales (para ser utilizada como alimento), además al estar en contacto entre si, las bacterias formarán un flóculo que sedimentará en el clarificador.

Existen varios indicadores de un mal mezclado:

- Formación de depósitos de sólidos en las esquinas del tanque de aeración.
- Zonas con concentraciones de oxígeno disuelto de cero en el tanque de aeración.
- Zonas con diferencia significativa en concentración, ya sea de OD o de SS.

Un tanque de aeración bien mezclado presentará uniformidad de concentraciones en todo el tanque (Foto 6.23).

Turbulencias no uniformes o baja turbulencia pueden ser causadas por:

- Difusores obstruidos (Foto 6.24)
- Colocación asimétrica de aeradores superficiales, o insuficiente aeración de algún equipo.
- Difusores con membranas rotas o dañadas (Foto 6.25)
- Exceso de aeración (Foto 6.26)



Foto 6.23 Aeración uniforme



Foto 6.24 Difusores obstruidos



Foto 6.25 Difusor dañado



Foto 6.26 Exceso de aeración

#### 6.1.1.12 TACTO

El tacto es una importante herramienta para verificar el funcionamiento de los equipos; si los motores de las bombas, sopladores o algún otro motor de los equipos del proceso se sienten más calientes de lo normal, se deben verificar para evitar un daño y costo mayor.

La excesiva vibración en bombas y tuberías pueden ser una señal de advertencia de un mal funcionamiento de los equipos; se debe identificar la causa de la vibración para corregirla y evitar problemas futuros.

A continuación se presenta un formato guía (Tabla 6.2) que puede ser utilizado para realizar una evaluación rápida en planta de los indicadores visuales antes descritos.

Tabla 6.2 Evaluación de indicadores visuales

COLOR	Café	Negro	Verde	Otro
Observaciones				
OLOR	Humedad	Ligero	Séptico	Otro
Observaciones				
ESPUMA	Entrada	Tan. Aeración	Sedimentador	Salida
Observaciones				
ALGAS	Entrada	Tan. Aeración	Sedimentador	Salida

Observaciones				
AEROSOLES	Verificar nivel de aeradores			
Observaciones				
TURBIEDAD	Sedimentador	Verificar salida de los vertedores		
Observaciones				
BURBUJAS	Sed. Primario	Sed. Secundario		Otro
Observaciones				
Sed. Secundario	Otro	Tan. Aeración		
Observaciones				
ACUMULACIÓN DE SÓLIDOS	Verificar las esquinas de los tanques de aeración			
Observaciones				
CORTOCIRCUITO	Observar trayectoria de las corrientes y/o material flotante			
Observaciones				
TURBULENCIA	Tanque de aeración			
	Homogénea	Heterogénea: Ubicar zonas		Otro
Observaciones				
EQUIPOS	Temperatura	Movimiento	Fugas	Otro
Bomba B1				
Bomba B2				
Bomba B3				
Soplador S1				
Soplador S2				
Compresor C1				
Compresor C2				
Otro				
Observaciones				

### 6.1.2 INDICADORES ANALÍTICOS

Los indicadores analíticos son la principal herramienta del personal de operación para controlar el funcionamiento de la planta de tratamiento. Los resultados analíticos se usan no sólo para conocer las eficiencias del proceso, sino también para resolver problemas de operación mediante el cálculo de parámetros que sirven como base para el funcionamiento adecuado del sistema. La Figura 6.3 y la Tabla 6.3, indican los puntos recomendados para el muestreo, parámetros y valores esperados para un proceso de lodos activados.

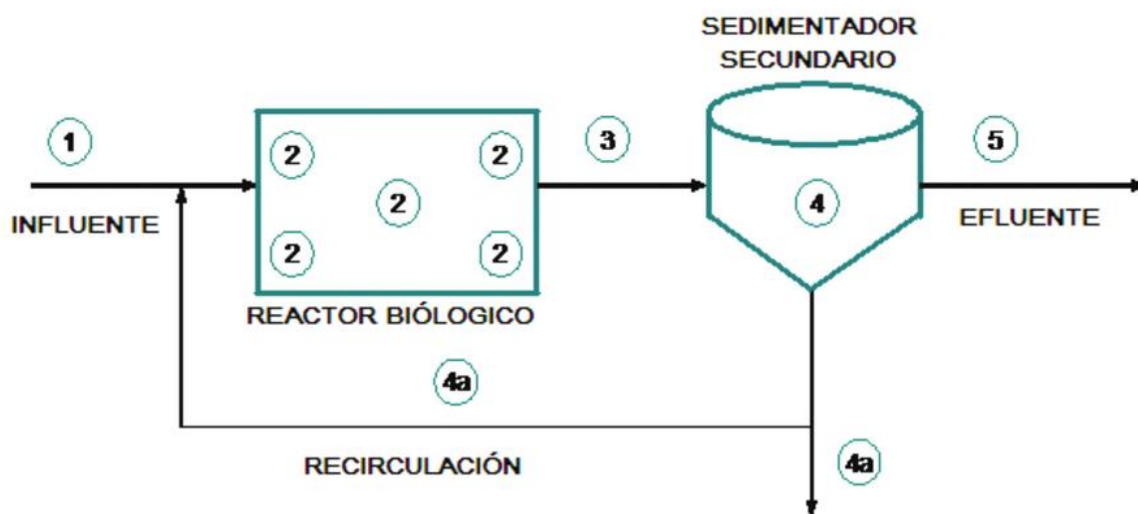


Figura 6.3 Puntos recomendados para muestreo en un proceso de lodos activados

Tabla 6.3 Parámetros, y valores esperados, para la evaluación del proceso de lodos activados

Parámetro	Punto de muestreo	Valor esperado
DBO <sub>5</sub> influente	1	1 – 300 mg/L
DBO <sub>5</sub> efluente	5	5 – 30 mg/L
DQO influente	1	3 – 900 mg/L
DQO efluente	5	15 – 90 mg/L
Oxígeno disuelto	2	1.5 – 4 mg/L
SSLM	2, 3	Variable
SSVLM	2, 3	70 – 80% SSLM
SS influente	1	50 - 250 mg/L
SS efluente	5	5 – 30 mg/L
SS recirculación y purga	4a	Variable
DBO <sub>5</sub> /DQO	1	± 0.5
pH	2, 5	6.5 – 8.5
Manto de lodos	4	0.3 – 1.0 m

a: dependerá de la modalidad del proceso de lodos activados.

Los indicadores analíticos de mayor importancia en la operación de plantas de lodos activados son:

- Temperatura
- pH

- Acidez y alcalinidad
- Oxígeno disuelto (OD)
- Tasa de utilización de oxígeno
- Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ )
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Nutriente (nitrógeno y fósforo)
- Sólidos suspendidos totales y volátiles (SST y SSV)
- Índice volumétrico de lodos (IVL)
- Grasas y aceites
- Gastos
- Tiempos de retención
- Profundidad del manto de lodos
- Análisis microscópicos
- Dosificación de químicos

#### 6.1.2.1 TEMPERATURA

La temperatura es un parámetro muy importante de operación debido a que tiene un efecto directo en el nivel de actividad de las bacterias en los sistemas de lodos activados, por lo que, el operador no tiene control sobre este parámetro. Las relaciones entre temperatura y actividad biológica se pueden observar en la Figura 6.4.

El rango óptimo de temperatura para la actividad bacteriana aerobia en sistemas de lodos activados es entre 25 y 32°C. Generalmente por cada cambio en la temperatura de 10°C, la actividad bacteriana varía con un factor de 2. A altas temperaturas las bacterias se vuelven más activas, inversamente a menor temperatura menor actividad bacteriana.

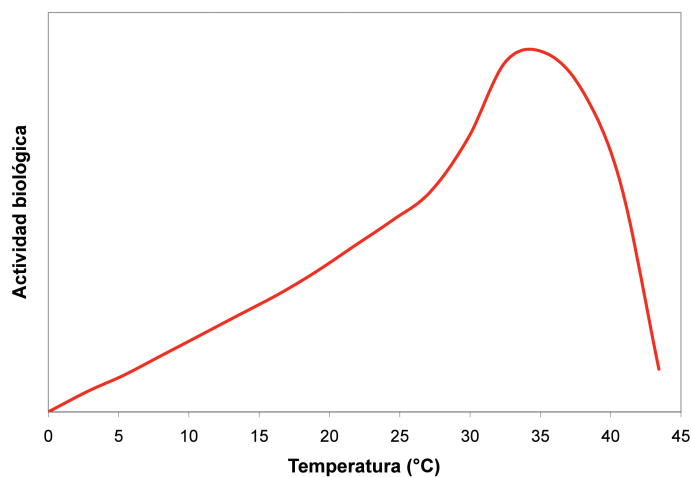


Figura 6.4 Temperatura y actividad biológica



La velocidad de reacción enzimática se duplica cada 10°C (aproximadamente); arriba de 35 °C, las enzimas son destruidas dando como resultado final una baja en la eficiencia del proceso.

Para compensar los cambios de temperatura en las diferentes estaciones del año, se deben realizar los cálculos necesarios para tener las concentraciones adecuadas de SSVLM, así durante los meses de invierno la actividad biológica baja y los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aeración necesitan incrementarse para mantener la eficiencia del proceso y en el verano por condiciones inversas, los SSVLM deben reducirse, ya que cada bacteria asimilará más materia orgánica debido a mayor actividad.

La temperatura también afecta las características de sedimentación. Durante el invierno, el agua es más densa y la sedimentación será más lenta y en el verano sucede lo contrario.

Tomado en consideración que la temperatura es un parámetro importante en el desarrollo de la actividad microbiana, es necesario tomar en cuenta que el agua residual no debe exceder de 35°C, ni ser menor de 15°C, hecho que en algunas plantas industriales no se toma en cuenta. Otro punto que es importante mencionar, es que si el sistema es aerado por sistemas de difusión de burbuja fina, el soplador incrementa la temperatura del aire, que a su vez puede incrementar la temperatura del agua hasta en 2°C.

#### 6.1.2.2 pH, ACIDEZ Y ALCALINIDAD

Para asegurar la actividad y el desarrollo de los microorganismos que son de interés en el proceso de lodos activados es indispensable que el agua residual a tratar, así como el sistema en el tanque de aeración se mantengan en un pH entre 6.0 y 8.5 unidades, aunque las bacterias pueden sobrevivir en el rango de pH entre 5.0 y 10.0 pero no reproducirse.

Por tal motivo es necesario que el pH del influente a la planta y del tanque de aeración se registren diariamente para conocer si se reciben ocasionalmente descargas que se salgan de los valores mencionados y realizar las acciones de control necesarias.

Bajo esta premisa, los análisis de acidez y alcalinidad dan la información necesaria para determinar la capacidad amortiguadora del agua cruda y del agua tratada de la planta de tratamiento. Además, uno de los subproductos de la degradación biológica de la materia orgánica es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que puede formar ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) cuando se mezcla con el agua, y puede bajar el pH, si las aguas residuales no tienen la suficiente alcalinidad para amortiguar la formación del ácido.

En un agua que presente suficiente alcalinidad el descenso de pH entre el agua residual de entrada y el agua tratada varía de 0.2 a 0.5 unidades. Esto puede ser de suma importancia si el agua residual tiene un origen industrial y un alto o bajo pH y por lo que tal vez requiera neutralización. Con base en estos parámetros se calculan los productos químicos para la neutralización.

Cuando se tienen aguas residuales ácidas, lo más conveniente es utilizar cal para su neutralización, por su bajo costo.

Es necesario, controlar el pH ácido, debido a que por debajo de 6.5, los hongos predominan sobre las bacterias y se tendrá una baja remoción de  $\text{DBO}_5$  y una pobre sedimentación. Tomar en cuenta que a valores altos de pH, los nutrientes como el fósforo empiezan a precipitar, y ya no puede ser utilizado por las bacterias; esto da como resultado una baja remoción de  $\text{DBO}_5$ .

Cuando el agua residual es alcalina, la producción de  $\text{CO}_2$  en el sistema puede ser suficiente para bajar el pH, pero si no es el caso, será necesario adicionar ácido sulfúrico o clorhídrico, que por los costos puede ser prohibitivo. Se debe recordar que en condiciones extremas por arriba o por debajo del rango de 5.0 a 10.0, la población biológica de la planta morirá.

La Figura 6.5 muestra la relación del pH con los procesos biológicos.

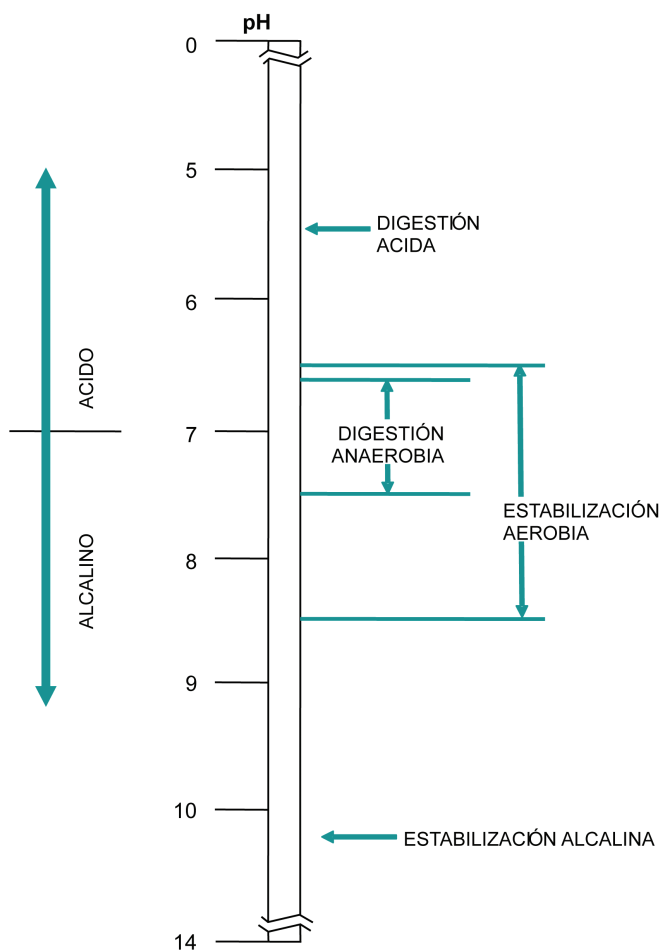


Figura 6.5 Escala de pH y los procesos biológicos

### 6.1.2.3 OXÍGENO DISUELTO (OD)

La variación temporal de la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual hace que se tenga también una variación en la cantidad de oxígeno que se debe proporcionar al reactor biológico, para mantener la concentración deseada de los parámetros de control.

En lugares con climas extremos (norte del país) en el verano, la actividad bacteriana aumenta y se requiere mayor cantidad de oxígeno; además, como la temperatura del agua residual se incrementa, el valor de saturación del oxígeno en el agua disminuye, esto es, la cantidad de oxígeno que puede ser transferido o disuelto en el agua es menor. Ambos fenómenos pueden dar como resultado que se requiera mayor cantidad de oxígeno en el sistema durante esta época para mantener la concentración de oxígeno disuelto residual requerido por el proceso.

Durante el invierno, las temperaturas bajas pueden causar una disminución de la actividad bacteriana y un aumento en el valor de saturación. Lo que da como resultado que en los meses más fríos se reduzcan los requerimientos de aire en el sistema.

Los niveles de oxígeno disuelto en el tanque de aeración son muy importantes para la operación; si el oxígeno disuelto es muy bajo, se inhibirá la actividad microbiana y la remoción de materia orgánica disminuirá. Concentraciones altas de OD pueden afectar negativamente la sedimentación secundaria, debido a que la mezcla puede estar rompiendo los flóculo, sin embargo, un aspecto más importante es el de que se estará desperdiciando la energía y por lo tanto dinero.

Ahora bien, si el proceso presenta un incremento de OD puede deberse a problemas de toxicidad aguda o crónica; se pensará en la primera si el incremento es rápido, y en la segunda si es lento. Para evitar una caída brusca del OD por el ingreso de una carga orgánica alta al sistema, se recomienda tener oxígeno disuelto residual de 1 a 2 mg/L en el reactor biológico. Con lo cual se asegura un poco más del oxígeno que están utilizando las bacterias. El OD residual servirá para satisfacer las variaciones normales de la demanda de oxígeno.

### 6.1.2.4 PRUEBA DE CONSUMO DE OD

Para monitorear el estado o nivel de actividad de los microorganismos se emplea una prueba simple, pero valiosa, que es la utilización de oxígeno. Su determinación es fácil y rápida, y permite al operador conocer la actividad microbiana en el aerador, midiendo la velocidad de consumo de oxígeno, empleando para esto un oxímetro, un frasco Winkler de un litro, una parrilla de agitación y una barra magnética para mantener el licor mezclado en suspensión durante el periodo de la prueba, que como máximo dura 15 minutos (Foto 6.27).

Las mediciones se pueden graficar (Figura 6.6) y se pueden observar los diferentes comportamientos que se muestran en la gráfica, así se tiene que:



Foto 6.27 Prueba de consumo de oxígeno

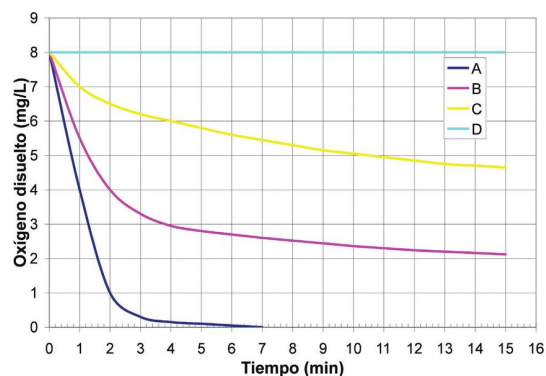


Figura 6.6 Consumo de oxígeno

- A. Indica que la actividad microbiana es muy alta o que existen demasiados microorganismos o que en ese momento se recibió una alta carga orgánica.
- B. Muestra un comportamiento ideal en el sistema, esto es, el consumo en los primeros minutos es alto, pero con el tiempo es asintótico y sin llegar a un valor de cero.
- C. El consumo de oxígeno es lento y rápidamente se hace asintótico, lo que denota que puede haber pocos microorganismos, o que presentan una toxicidad crónica, que esta limitando su respiración.
- D. Si no existe consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, esto indica que pudo ocurrir una toxicidad aguda.

#### 6.1.2.5 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ( $\text{DBO}_5$ )

Otro factor importante como indicador del proceso es la concentración de  $\text{DBO}_5$ , sobre todo en el influente al tanque de aeración y en el efluente del sedimentador secundario.

La  $\text{DBO}_5$  proporciona al operador la información relativa al funcionamiento de la planta, como es la eficiencia de remoción de la carga orgánica (alimento), remociones por arriba del 90% de  $\text{DBO}_5$  indican que la planta funciona bien; y por debajo del 80% denota que existen problemas en la planta.

Se requieren registros diarios de  $\text{DBO}_5$  para calcular parámetros de operación, siendo el más importante la relación alimento-microorganismos (A/M). Otro uso de este indicador es para calcular la cantidad de nutrientes en caso de requerirse en el proceso.

Cualquier cambio significativo en las características del agua cruda afectará el desarrollo de los microorganismos y del sistema de tratamiento; si la carga de  $\text{DBO}_5$  se incrementa

significativamente, habrá demasiado alimento para los microorganismos del sistema. Este exceso podrá incrementar la tasa de reproducción y producir un lodo activado joven caracterizado por un crecimiento disperso de la población, lo que se traduce en una sedimentación secundaria pobre. Pero también, se incrementaría el consumo de oxígeno, como se mencionó con anterioridad.

Si no se tiene la cantidad adecuada de microorganismos y oxígeno requerido, no toda la  $\text{DBO}_5$  (alimento) será utilizada por los microorganismos, y una parte pasará directamente al sedimentador secundario y al efluente de la planta, lo que provocará que la eficiencia de tratamiento disminuya.

Si por el contrario, la carga orgánica ( $\text{DBO}_5$ ) decrece, no habrá suficiente alimento para los microorganismos y disminuirá su tasa de crecimiento, por lo que la población microbiológica del sistema se reducirá; el efecto será un efluente con incremento en la concentración de sólidos suspendidos al formarse un flóculo de rápida sedimentación que no ayuda al arrastre de partículas finas y coloidales.

Se debe llegar a un balance adecuado entre la cantidad de alimento y la de microorganismos en el sistema, esto se discutirá más adelante.

#### 6.1.2.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La DQO es una herramienta que cada vez tiene mayor uso, pues el análisis de laboratorio es mucho más rápido que el de la  $\text{DBO}_5$ . En aproximadamente 4 a 5 horas se puede realizar y obtener un resultado, mientras que la  $\text{DBO}_5$  requiere cinco días.

La espera de resultados por más de cinco días ha promovido el uso de la relación  $\text{DBO}/\text{DQO}$ ; esta relación puede obtenerse determinando de manera sistemática los dos parámetros, durante por lo menos un año, para llegar a establecer de manera aproximada dicha relación.

Una vez que se tiene esta relación, determinando el DQO se infiere el valor de la  $\text{DBO}_5$ , ahorrándose el tiempo de espera de resultados.

Por esta razón, la DQO es un importante indicador analítico en plantas de lodos activados, además de ser un índice de descargas industriales.

En la Tabla 6.4, se presenta un ejemplo con resultados correspondientes al año 2006 de una planta de lodos activados de aeración extendida, los cuales pueden ser graficados para poder establecer la relación  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  (Figura 6.7 y Figura 6.8).



Tabla 6.4 Resultado de DQO y DBO<sub>5</sub>

Fecha de muestreo	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DBO/DQO
10/01/2006	217	98	0.45
24/01/2006	113	55	0.49
07/02/2006	213	95	0.45
21/02/2006	176	85	0.48
07/03/2006	165	90	0.55
22/03/2006	206	118	0.57
04/04/2006	223	116	0.52
18/04/2006	150	86	0.57
02/05/2006	184	105	0.57
16/05/2006	214	130	0.61
31/05/2006	176	113	0.64
13/06/2006	221	170	0.77
27/06/2006	201	90	0.45
12/07/2006	132	64	0.48
25/07/2006	136	58	0.43
08/08/2006	166	68	0.41
22/08/2006	171	90	0.53
05/09/2006	90	50	0.56
19/09/2006	180	82	0.46
03/10/2006	195	76	0.39
17/10/2006	170	62	0.36
31/10/2006	171	76	0.44
14/11/2006	243	119	0.49
28/11/2006	187	85	0.45
12/12/2006	183	70	0.38
19/12/2006	287	123	0.43

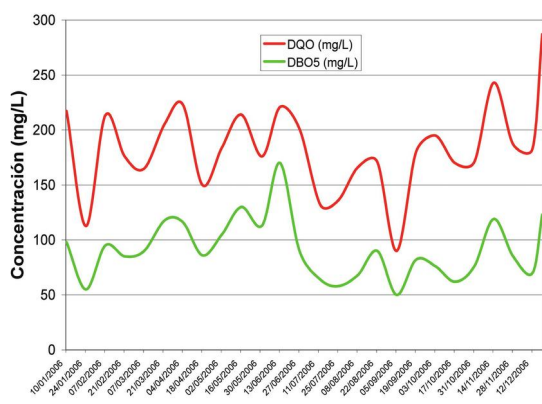


Figura 6.7 Tendencia DBO y DQO

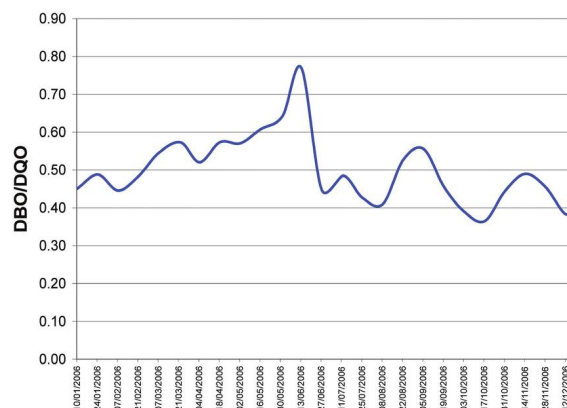


Figura 6.8 Tendencia de la relación DBO/DQO

De los datos de la Tabla 6.4 se puede establecer que en promedio la relación  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  es de 0.50. En el periodo de estiaje (enero a mayo) la relación es de 0.56. Si se divide de enero a marzo, es de 0.50 y de abril a mayo (sequía extrema) de 0.61, existiendo una gran diferencia entre ellas. En tiempo de lluvias (junio a septiembre) la relación disminuye a valores de 0.45 y se mantiene así hasta diciembre (0.44), época de estiaje nuevamente.

Lo anterior demuestra, que la relación no es fácil de emplear, ya que si se usara un promedio anual, se obtendrían valores incorrectos para cualquier época estacional, lo más apropiado y que minimizaría el error es emplear una relación por mes, que además correspondería a las condiciones ambientales de ese periodo anual en particular.

Es importante tomar en cuenta que las relaciones que se citan en los libros son sólo una referencia y que no deben ser empleadas para resolver problemas en una PTAR en particular, ya que las condiciones de calidad del agua (alimentación) varían en cada caso, por lo que será necesario determinar de antemano la relación  $\text{DBO}/\text{DQO}$  para resolverlos.

#### 6.1.2.7 NUTRIENTES

Los nutrientes presentes en las aguas residuales de tipo doméstico, normalmente están en cantidad suficiente para los microorganismos; sin embargo, habrá influentes como algunos de origen industrial, que requieren la adición de nutrientes para su tratamiento por medios biológicos.

Cuando no se tiene suficiente nitrógeno se desarrolla una población dispersa o filamentosa que sedimenta pobremente, además se inhibe la producción de nuevas células.

Los niveles de N y P deben ser monitoreados en el efluente del clarificador para saber si están presentes y si se cumple con las condiciones de descarga de estos parámetros.

Es necesario determinar estos parámetros en muestras filtradas para que no se contabilicen los sólidos biológicos presentes en la muestra. Si los sólidos biológicos no se retienen; el N y P de los microorganismos se sumarán al disponible como alimento.

Como regla general se sabe que a 100 kg de  $\text{DBO}_5$  le corresponden 5 kg de N, y 1 kg de P para que exista una buena relación de nutrientes.

#### 6.1.2.8 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) Y VOLÁTILES (SSV)

Los SST y SSV son indicadores del proceso, por lo que se han utilizado tradicionalmente como parámetros de control. Analíticamente se ha establecido que los SSV son una medida indirecta de la cantidad de microorganismos que están presentes en un sistema biológico de tratamiento de agua residual.

Las concentraciones de los SST y SSV se emplean para calcular los parámetros de control del proceso, tales como la relación alimento-microorganismos (A/M) y el tiempo medio de retención celular (TMRC), el cual a su vez es usado para calcular los niveles requeridos de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM), y para hacer ajustes periódicos a la recirculación y a la purga de lodos.

Generalmente, los cálculos antes mencionados están relacionados con los SSV. En el procedimiento de cuantificación de sólidos suspendidos, con una misma muestra, primero se determinan los SST y después mediante incineración los SSV. Para facilitar el procedimiento, estos dos parámetros también pueden ser relacionados de igual manera que la DBO y DQO, eliminando así el análisis de los SSV. Sin embargo, es necesario realizar al menos por un año los análisis.

#### 6.1.2.9 GRASAS Y ACEITES

Este parámetro debe controlarse tanto en aguas residuales municipales como en industriales, sobre todo cuando se conoce su existencia. Las grasas y aceites interfieren en la transferencia de materia orgánica soluble a través de la pared celular de los microorganismos al envolverlos, por lo cual mueren por falta de alimento.

Si el agua residual que ingresa al reactor biológico tiene cantidades de grasas y aceites mayores a 100 mg/L empujarán a los flóculos a la superficie en los clarificadores secundarios (Foto 6. 28), pero si son mayores de 150 mg/L los problemas de aglomeración de flóculos se dará desde el reactor biológico (Foto 6.29), lo que puede ocasionar una pérdida importante de SSV en el sistema y por lo tanto una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

Lo anterior sugiere que si el análisis de calidad del agua residual muestra que la concentración de grasas ya aceites es mayor a 100 mg/L se deberá considerar en el pretratamiento una trampa de grasas para evitar futuros problemas operacionales.



Foto 6. 28 Presencia de grasas y aceites en clarificadores secundarios mayores a 100 mg/L



Foto 6.29 Prescencia de grasas y aceites en reactores biológicos mayores a 150 mg/L

#### 6.1.2.10 GASTO

El gasto de entrada de agua residual esta relacionado directamente con la operación de una planta de tratamiento y es necesario que se mida para realizar un buen seguimiento de las unidades de proceso y control de otros parámetros de operación.

El incremento de gasto por arriba de los valores de diseño disminuirá el tiempo de retención y por tanto, la capacidad de tratamiento, reduciendo las eficiencias de remoción del sistema.

El gasto de entrada es un factor donde el operador tiene control. Además, es recomendable que cuando se presenten caudales mayores al de diseño se cuente con un sistema de “by pass”, que será utilizado en época de lluvias, como se muestra en la Foto 6.30 y en la Foto 6.31.

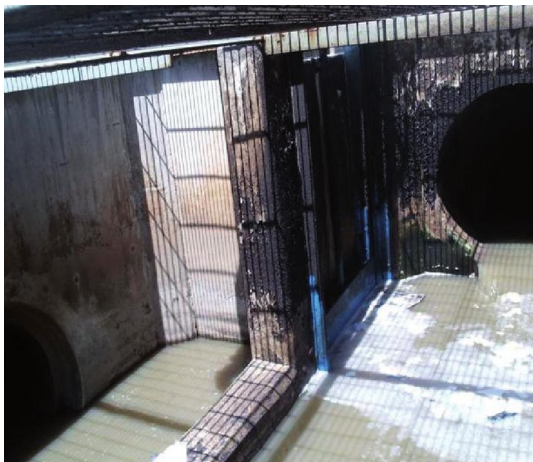


Foto 6.30 By Pass a la izquierda



Foto 6.31 Desvío de agua de lluvia

El gasto se debe medir al menos en el influente y efluente de la planta. Este se necesita para calcular:

- Cargas orgánicas
- Balance de sólidos
- Parámetros de control como, A/M y TMRC

Así como para ajustar:

- Tiempos de retención
- Recirculación de lodos
- Purga de lodos
- Dosificación de reactivos y nutrientes

Por lo anterior es indispensable contar con equipos medidores de gasto en continuo, y de ser posible a la entrada y salida del sistema, en la recirculación y en la purga.

#### 6.1.2.11 TIEMPO DE RETENCIÓN

El tiempo de retención se define como la retención hidráulica de agua en un tanque en particular.

En el reactor biológico, es un parámetro importante de operación, ya que establece el tiempo que las bacterias están en contacto con el alimento presente en las aguas crudas, el cual debe ser suficiente para que éstas asimilen o estabilicen la materia orgánica. Si el tiempo de retención en el tanque de aeración es muy pequeño, no toda la materia orgánica será removida y el efluente tendrá valores altos de  $\text{DBO}_5$  y tiempos de retención demasiado grandes pueden llevar a problemas de sedimentación.

También es importante este concepto de tiempo de retención, en los desarenadores, en donde las arenas deben ser eliminadas. En los tanques sedimentadores; se debe permitir que los sólidos suspendidos, en un primario, o que los flóculos de lodos activados, en un secundario, sedimenten en un tiempo razonable, para obtener un agua clara y un lodo con una concentración adecuada, así, si es demasiado corto, los sólidos suspendidos no tendrá tiempo de sedimentar, y su concentración en el efluente será muy grande, pero si los lodos permanecen en el tanque mucho tiempo, bajo condiciones anaerobias se vuelven sépticos o se pueden presentar problemas de desnitrificación. De igual manera, en un tanque de contacto de cloro, es indispensable que el cloro permanezca cierto tiempo para obtener una buena desinfección del agua residual tratada.

El cálculo del tiempo de retención en las unidades de proceso es particularmente importante cuando se alcanza o sobrepasa el gasto máximo de diseño.



#### 6.1.2.12 PROFUNDIDAD DEL MANTO DE LODOS

La altura del manto de lodos del sedimentador debe medirse diariamente; un manto de lodos muy grande hará trabajar deficientemente al clarificador e indica que los lodos no han sido extraídos para la recirculación o purgados, y que se están acumulando más rápido de lo que son extraídos.

Lo anterior puede ocasionar:

- Reducción del tiempo de residencia hidráulico y por tanto aumento de la velocidad del agua por los vertedores, que a su vez arrastra flóculos.
- Mayor tiempo de residencia del lodo en el sedimentador puede ocasionar que éste empiece a desnitrificar, generando nitrógeno gas, que al ascender arrastra grumos de lodo hacia la superficie.
- Demasiado tiempo de residencia del lodo en el fondo del sedimentador puede ocasionar que éste empiece a generar condiciones anaerobias, produciendo gas metano y ácido sulfhídrico, que al ascender arrastran grumos de lodo negro hacia la superficie y generan mal olor.

En los casos mencionados, se deteriora la calidad de agua tratada, y se refleja en la cantidad de sólidos suspendidos presentes en el efluente.

Un manto de lodos pequeño provocará una sedimentación deficiente, quizá originado por un flóculo disperso o por la extracción excesiva del lodo del sedimentador. Es deseable tener un manto de lodos concentrado en el fondo del sedimentador para reducir el volumen que debe ser extraído para su recirculación o purga. Es recomendable que esta concentración esté entre 10,000 y 12,000 mg/L (1 o 1.2% de sólidos).

La determinación del manto de lodos se puede realizar con la ayuda de un equipo que detecta la interfase agua-lodo produciendo un sonido Foto 6.32 y Foto 6.33.



Foto 6.32 Determinación del manto de lodos



Foto 6.33 Equipo para la determinación del manto de lodos

#### 6.1.2.13 OBSERVACIONES MICROSCÓPICAS

Las observaciones microscópicas se realizan para asegurar de la existencia de diversidad biológica y del nivel de actividad microbiana (Foto 6.34).

En general, los flóculos biológicos de pequeños a medianos y sin crecimiento disperso indican una operación adecuada del sistema de lodos activados.

La presencia de filamentosas y hongos indican condiciones ambientales desfavorables para los microorganismos tales como:

- Altas cargas orgánicas.
- pH bajo.
- Deficiencia de nutrientes.
- Falta de oxígeno disuelto.

Los microorganismos superiores son más sensibles que las bacterias a estas condiciones adversas; la presencia de materiales tóxicos o falta de oxígeno llevan a la muerte a estos microorganismos, lo que es usado como señal de alarma cuando no son encontrados en las observaciones microscópicas.

El flóculo debe mostrar una presencia variada de microorganismos en número y tipos de protozoarios que indican un proceso balanceado. La presencia de demasiados microorganismos flagelados indica un lodo joven. Si el flóculo es pequeño y con gran número de rotíferos, el lodo es viejo.

En muchos casos, el balance inadecuado de microorganismos en el sistema indica problemas en el proceso mucho antes de que sean severos.



Foto 6.34 Observación microscópica

#### 6.1.2.14 DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

En una PTAR de aguas residuales municipales el producto químico más utilizado es el cloro, ya sea en forma de gas o líquido, aunque en pequeñas plantas se utilizan en forma sólida, también se utilizan polímeros para el espesado y deshidratación de lodos.

Si la planta de tratamiento trata aguas industriales en algunos casos (no es regla general) es necesario emplear productos químicos que faciliten la operación y control del proceso. Estos pueden ser nutrientes como nitrógeno y fósforo, o complemento de materia orgánica a través de metanol o polímeros que ayuden a obtener y formar un buen flóculo, o ácidos o bases para regular el pH del agua residual.

Lo anterior hace necesario que se requiera mantener almacenada una cantidad suficiente para no parar la planta, ya que de éstos dependerá la calidad de agua residual que se obtenga.

#### 6.1.2.15 TOXICIDAD (METALES Y COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES)

La toxicidad normalmente es atribuida a altas concentraciones de metales pesados o compuestos orgánicos volátiles (COV), tales como; cobre, plomo, fenoles, benceno, tolueno, entre otros. La toxicidad puede presentarse de dos formas: crónica o aguda.

La toxicidad aguda puede presentarse rápidamente debido a la presencia de altas concentraciones de sustancias tóxicas; en cuestión de horas, la población biológica del tanque de aeración puede morir, lo que hace que este tipo de toxicidad sea detectada rápidamente.

La toxicidad crónica se presenta lentamente haciendo difícil su identificación, esto es cuando un metal o COV aumenta gradualmente dentro de la bacteria, debido a que el tóxico es recirculado una y otra vez en el sistema, hasta que la misma concentración rebasa un límite permisible y se empieza a notar un efecto en la salud de los microorganismos. Como la concentración del elemento tóxico se ha incrementado dentro de los microorganismos, el nivel tóxico es alcanzado disminuyendo su actividad celular hasta que mueren. El análisis rutinario, una vez por mes, de la concentración de los metales presentes en los lodos del sedimentador secundario puede detectar problemas potenciales por toxicidad crónica.

Finalmente en la Tabla 6.5 se presentan a manera de resumen los principales comentarios de los indicadores antes analizados.

Tabla 6.5 Comentarios de los indicadores analíticos

Indicador	Comentarios
Temperatura	Tiene un efecto directo en el nivel de actividad de las bacterias. Se recomienda un rango de 15 a 35°C.
pH, acidez y alcalinidad	En condiciones extremas por arriba o por debajo del rango de pH 5.0 a 10.0, la población biológica morirá. La acidez/alcalinidad, es una capacidad amortiguadora de las aguas residuales. Se recomienda pH de 6 a 8.5.
Oxígeno disuelto (OD)	Se tiene un sistema aerobio, por lo que es importante mantener un residual de OD entre 1 y 2 mg/L en el tanque de aeración, si baja, se inhibirá la actividad microbiana y la remoción de materia orgánica disminuirá.
Prueba de consumo de OD	Indica el nivel de actividad de los microorganismos.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Es el alimento de los microorganismos. Cualquier cambio significativo en la DBO afectará el desarrollo de los microorganismos y del sistema de tratamiento
Demanda química de oxígeno (DQO)	La demanda química de oxígeno puede usarse para estimar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
Nutrientes	Los microorganismos requieren N y P, así como diversos nutrientes para su desarrollo y reproducción.
Sólidos suspendidos	Es un parámetro que denota la eficiencia en el proceso de clarificación. Los SSV indican de manera indirecta la cantidad aproximada de microorganismos en el tanque de aeración.
Grasas y aceites	Interfieren en la transferencia de materia orgánica soluble, así como en la sedimentación de sólidos.
Gasto	Esta relacionado directamente con la operación de una planta de tratamiento y es necesario para el cálculo, ajuste y control de los parámetros de operación.
Tiempo de retención	Establece el tiempo que las bacterias están en contacto con el alimento, el cual debe ser suficiente para que estabilicen la materia orgánica.
Profundidad del manto de lodos	Es recomendable tener un manto de lodos de 1 m.
Microorganismos	Se realiza la observación microscópica para asegurarse de la existencia de diversidad biológica y del nivel de actividad microbiana. Es deseable tener una gran variedad de microorganismos.
Productos químicos	Se requiere mantener almacenada una cantidad suficiente para no parar la planta, ya que de éstos dependerá la calidad de agua residual que se obtenga.
Toxicidad	Se pueden presentar dos tipos de toxicidad: crónica o aguda, por metales y compuestos orgánicos volátiles.

## 6.2 CONTROL DEL PROCESO

La función principal del operador de plantas de tratamiento de aguas residuales es el de ajustar y controlar su proceso de tratamiento, de tal manera que la producción de agua tratada tenga consistentemente la calidad que se espera de ella, para cumplir con la normatividad o las condiciones particulares de descarga fijadas por las autoridades correspondientes.

Existen diversas técnicas para que el operador controle su planta, y obtenga el funcionamiento óptimo de su sistema de lodos activados.

Los controles operativos que más se utilizan en una PTAR son:

- Índice volumétrico de lodos (IVL).
- Relación alimento / microorganismos (A / M).
- Edad de los lodos.
- Recirculación de lodos.
- Purga de lodos.

Pero siempre buscando los siguientes efectos en el sistema de tratamiento:

- Mejorar las características de sedimentabilidad de los lodos.
- Mantener una concentración óptima de microorganismos en el reactor biológico.
- Obtener la mejor remoción de carga orgánica.
- Obtener la mejor remoción de nutrientes, cuando aplique.

Existen diversas condiciones para el correcto funcionamiento de las plantas; a continuación se mencionan los principales controles de la operación de plantas de lodos activados.

### 6.2.1 ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL).

Este se define como el volumen en mililitros ocupado por 1 gramo de sólidos en suspensión del licor mezclado (SSTLM) (Foto 6.35), expresado en peso seco, después de sedimentar durante 30 min en una probeta graduada de 1000 mL.

$$IVL = \frac{\text{Vol. de lodo (mL/L)}}{\text{SSTLM (g/L)}}$$

Como ejemplo; la concentración de SST en de 2000 mg/L (2 g/L). Después de 30 min, el volumen de lodo es de 250 mL/L. Entonces, el volumen ocupado por un gramo después de 30 minutos es de:

$$IVL = \frac{250}{2} = 125 \frac{\text{mL}}{\text{g}}$$





Foto 6.35 Prueba de sedimentabilidad  
para obtener el IVL

Los valores típicos de IVL para lodos de buenas características de sedimentación con concentraciones de 800 a 3500 mg/L están comprendidos dentro del intervalo 150 a 350 mL/g.

Ahora bien, la determinación de esta prueba puede revelar mucha información si se realiza de una manera correcta y tomando en consideración lo siguiente:

- El comportamiento de los microorganismos no es igual en la mañana, al medio día, por la tarde o por la noche.
- Se deberá establecer si se realizará una o varias veces al día (se recomienda una o varias veces por turno).
- Se deberá realizar a la misma hora todos los días, esto es por ejemplo; a las 9:00 o 12:00 o 15:00 o 23:00, esto con la finalidad de que los resultados sean comparables.
- Se deberá realizar a la sombra, ya que la temperatura afecta la velocidad de sedimentación.
- Se deberá tomar el volumen del lodo cada cierto lapso de tiempo, por ejemplo cada 3 o 5 min.
- Los datos obtenidos se graficarán, para obtener una curva de sedimentabilidad, que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico.
- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del flóculo, su color y olor.
- Al final de la prueba, el aspecto del sobrenadante también puede ayudar a tener una idea del tipo de lodo que existe en el reactor biológico y de lo que se espera en el sedimentador secundario.

La información que se obtenga de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar rápidamente problemas operacionales.

Al graficar el volumen de lodo vs tiempo se puede obtener lo que se muestra en la Figura 6.9 . En donde, la línea;

- Roja, corresponde a un lodo esponjoso, de color café claro y que posiblemente sea de un lodo joven.
- Violeta, representa a un lodo maduro, de flóculo bien formado, de color café achocolatado, con olor a tierra húmeda.
- Verde, corresponde a un lodo viejo con características de excelente sedimentabilidad pero con un clarificado turbio. El color del lodo es de café oscuro o cercano a negro.

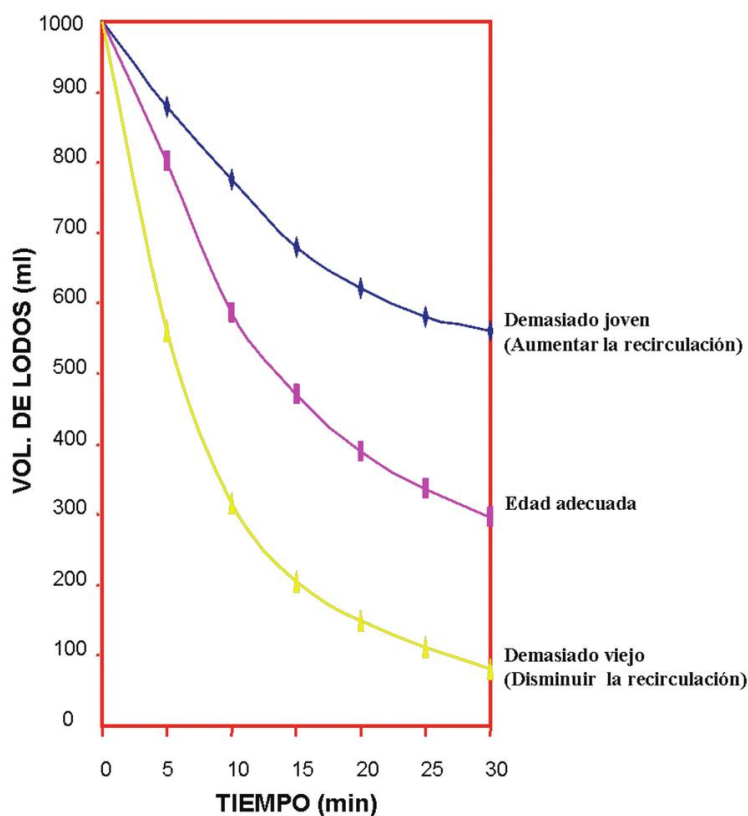


Figura 6.9 Curva de sedimentación

### 6.2.2 RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS ( $A/M$ )

Para controlar de manera efectiva el proceso de su planta de tratamiento, el operador necesita conocer las cargas orgánicas que entran y salen del sistema. Los dos parámetros de mayor importancia que se deben cuantificar para aguas residuales son la  $DBO_5$  y los SST; aunque en el caso del tratamiento de aguas residuales diferentes a las domésticas, tal vez se requiera adicionar más parámetros.

La concentración de  $\text{DBO}_5$  ( $S_o$ ) es particularmente importante, pues con este parámetro se calcula la cantidad de alimento que entra al sistema y que será asimilado por los microorganismos en el tanque de aeración y esta definida por la siguiente ecuación:

$$A = \text{Carga orgánica} = \text{gasto} \times \text{concentración } \text{DBO}_5$$

$$A = \text{Carga orgánica} = Q \times S_o$$

Otro aspecto que debe considerar el operador es la carga de microorganismos que se encuentran en el reactor biológico y que serán los encargados de oxidar la materia orgánica presente en el agua residual, ésta se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$M = \text{Carga de SSV} = \text{Volumen del reactor} \times \text{concentración de SSV}$$

$$M = \text{Carga de SSV} = V \times \text{SSVLM}$$

Para formar un buen lodo en el tanque de aeración y que éste sedimente bien en el clarificador, además de lograr una buena eficiencia de remoción de  $\text{DBO}_5$ , se debe mantener un balance adecuado de la cantidad de  $\text{DBO}_5$  que entra al tanque y la cantidad de SSVLM presentes en el mismo. Este balance se controla con el parámetro denominado relación  $A/M$  (alimento/microorganismos). La relación varía de acuerdo con el proceso de tratamiento o modificación al mismo.

La relación  $A/M$  se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{A}{M} = \frac{\text{Alimento que entra al sistema por día}}{\text{Masa de microorganismos en el tanque de aeración}}$$

$$\frac{A}{M} = \frac{\text{Kg de } \text{DBO}_5 \text{ influentes al tanque de aeración por día}}{\text{Kg de SSVLM (en el tanque de aeración)}}$$

Cuando se utiliza la relación  $A/M$  como parámetro de control en una planta de tratamiento, se tiene el inconveniente de que  $A$  (alimento), es una variable independiente, sin embargo se puede tener cierto grado de control con un tanque de homogeneización. Además en la industria se puede lograr a través de la regulación de alguna descarga del proceso productivo.

El parámetro  $M$  (microorganismos) es la parte controlable de la relación  $A/M$ ; éste representa los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aeración que se controlan mediante la recirculación y purga de lodos activados.

Cuando el parámetro es utilizado como control de la planta, es responsabilidad del operador controlar la concentración de SSVLM; en otras palabras, el operador debe controlar la cantidad de microorganismos de acuerdo con el alimento disponible.

Si la relación  $A/M$  es demasiado alta, hay necesidad de disminuir la purga de lodos y aumentar la recirculación para que entren más microorganismos al sistema.

Si la relación  $A/M$  es muy baja, entonces se requiere aumentar la purga de lodos, disminuir la recirculación para que entren menos microorganismos al sistema, algunos valores típicos de  $A/M$  de acuerdo con el tipo de proceso se presentan en la Tabla 3.2. En ella se incluyen otros parámetros para lodos activados. La Figura 6.10 y Figura 6.11 muestran las relaciones con otros parámetros de control.

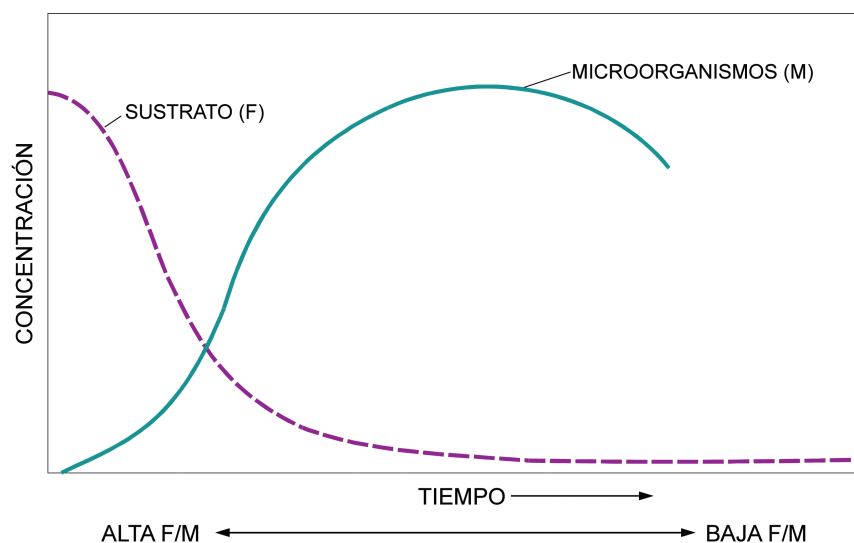


Figura 6.10 Relación  $A/M$ , crecimiento biológico y remoción de sustrato

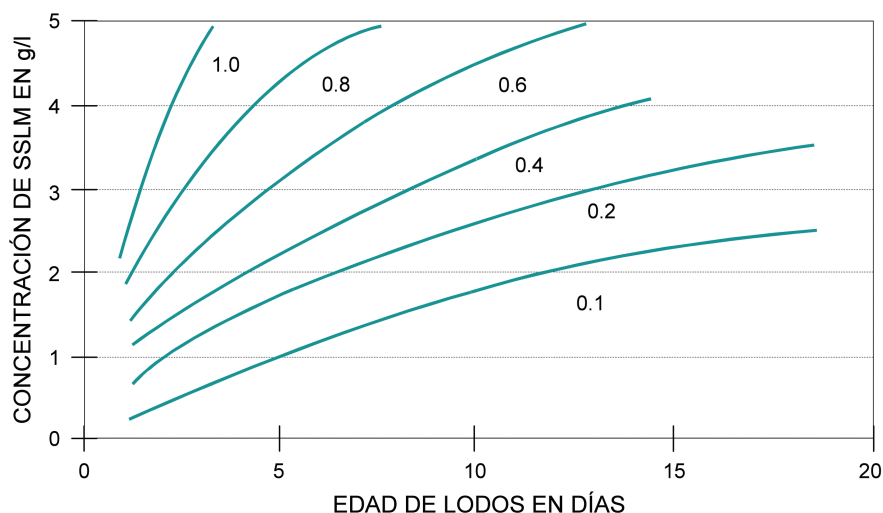


Figura 6.11 Relación  $A/M$ , edad de lodos y SSLM

Los parámetros para el cálculo de la (A/M) deben obtenerse de la planta, la DBO<sub>5</sub> del influente al tanque de aeración y los SSVLM del tanque de aeración para tener un valor más preciso y real.

A continuación se desarrolla una explicación de la correlación A/M y de su efecto sobre las características de sedimentación del lodo.

#### **Para relaciones A/M por debajo del límite inferior establecido**

Si la cantidad de alimento presente en el sistema es insuficiente para mantener el crecimiento de microorganismos, estos se ven obligados a vivir bajo el sistema de respiración endógena. Una célula de bacteria típica contiene un material citoplasmático rico en proteínas y ácido ribonucleico y es la principal porción de la célula que se metaboliza durante el proceso de respiración endógena. El residuo que queda del metabolismo endógeno está constituido principalmente por cápsulas celulares muy ligeras que resisten la sedimentación. Esta es la razón por la cual a relaciones bajas de A/M el lodo tiene unas características muy pobres para su sedimentación.

#### **Para relaciones de A/M por arriba del límite superior establecido**

Hay un predominio de un tipo de microorganismos de naturaleza filamentosa (*Sphaerotilus*). Este tipo de colonias no decanta bien permaneciendo en suspensión casi continuamente. El lodo inflado bajo estas condiciones es el que se denomina “bulking”.

#### **Para valores de A/M comprendidos entre estos dos extremos**

El lodo tiene buenas características de sedimentación. El lodo bajo estas condiciones se denomina floculante. Ver los valores que se recomiendan en la Tabla 3.2.

#### **6.2.3 EDAD DE LODOS (TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN CELULAR)**

Otro parámetro de control es el tiempo medio de retención celular (TMRC) o edad del lodo activado. Es un parámetro que se debe mantener en ciertos límites para que la operación de la planta sea eficiente. Los libros de texto definen de diferentes formas este concepto: aquí se puede definir como:

$$\text{TMRC} = \frac{\text{Kg de SSVLM en el tanque de aeración}}{\Delta\text{SSV (producción neta de biomasa, Kg SSV por día)}}$$

La edad de los lodos es una medida del tiempo en que los microorganismos son retenidos idealmente en el sistema de tratamiento.



La edad de lodos (TMRC) afecta directamente a la sedimentación; un lodo joven puede generar un crecimiento biológico disperso caracterizado por sedimentación deficiente; un lodo viejo se caracteriza por baja actividad y densos flóculos que sedimentan rápidamente con poca acción de arrastre, resultando un efluente turbio.

La mejor edad del lodo para una planta en particular, debe seleccionarse de acuerdo con la experiencia en la operación y será aquel que produzca el mejor efluente (Figura 6.9). En general, con edades de lodos grandes la producción de lodos será poca, porque el alimento es escaso y los microorganismos estarán en fase endógena, sin embargo, se requerirá una mayor cantidad de oxígeno. Pero con edades pequeñas, la tasa de crecimiento es mayor y la producción de lodos aumenta.

Edades de lodos entre cuatro y siete días son muy comunes en plantas con el propósito de remover sólo DBO carbonosa, este tipo de plantas son relativamente estables. Plantas con edades de 8 a 12 días nitrifican. Las bacterias nitrificantes crecen y se reproducen más lentamente que las bacterias carbonosas. Edades de lodos entre 12 y 20 días garantizan una nitrificación total, especialmente en ambientes fríos. Un lodo nitrificado que permanece por un tiempo prolongado en el sedimentador y sin oxígeno puede presentar desnitrificación, en donde el gas nitrógeno arrastrará lodo hacia la superficie deteriorando la calidad del agua. Edades mayores a 20 días, generalmente se presentan en procesos de aeración extendida. En este caso se deberá tener especial cuidado, ya que las bacterias nitrificantes pueden producir demasiado ácido (Romero, 2005).

La edad se mantiene controlando la purga del sistema. Como guía de operación, la edad de lodos disminuye cuando la purga aumenta y por el contrario aumenta cuando se disminuye la purga.

Una vez que se han seleccionado los valores correctos de A/M y TMRC, se procede a programar la purga de lodos y mantener todos estos parámetros de control en los rangos deseables, sobre todo en el arranque de la planta.

#### **6.2.4** *CONTROL DEL GASTO DE RECIRCULACIÓN*

El objetivo principal de regresar lodos al reactor biológico es el de mantener una concentración lo más constante de SSV en el mismo, ya que estos salen más rápido de lo que se reproducen en el reactor biológico, por lo que si no se realiza esta actividad de retorno se corre el riesgo de que en el reactor vaya disminuyendo paulatinamente la concentración de microorganismos, repercutiendo finalmente en la calidad del agua tratada.

Es recomendable que la recirculación se realice en continuo, ya que de otra forma la concentración de SSVLM disminuirá paulatinamente y después aumentará drásticamente, en ambos casos nunca se tendrá la concentración adecuada de SSV en el reactor biológico

provocando problemas en la calidad del agua tratada, principalmente en la remoción de materia orgánica, además, de una excesiva acumulación de lodos en el sedimentador secundario.

Una recirculación óptima depende de diversos factores, tales como:  $\text{DBO}_5$  del influente, velocidad de reproducción celular, temperatura, SSVLM y SSV en la recirculación. Sin embargo, el operador tiene poco o ningún control sobre alguno de estos factores. A pesar de depender de estos factores, el gasto de recirculación puede calcularse basándose en requisitos de operación, variando de acuerdo a las estaciones del año. A continuación se presenta la determinación del gasto de recirculación:

$$Q_r = \frac{Q_i * \text{SSVLM}}{\text{SSVr} - \text{SSVLM}}$$

Donde:

$Q_r$  = Gasto de recirculación

$Q_i$  = Gasto de de entrada

SSVLM = Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado

SSVr = Sólidos suspendidos volátiles en la recirculación

### 6.2.5 CONTROL DE LA PURGA

Como se ha estado mencionando, el proceso de lodos activados se basa en la oxidación de materia orgánica mediante microorganismos, los cuales continuamente se están reproduciendo y desarrollando, por lo que, con el tiempo, la concentración de SSVLM en el reactor aumenta progresivamente alejándose de la concentración de operación. Por ello es necesario purgar diariamente el lodo que se ha producido en exceso. Esto hace que el control de la purga sea la primera herramienta de operación de una planta de lodos activados.

La determinación de la purga de lodos se basa en la producción neta de biomasa por día y se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_p = \frac{\Delta \text{SSV} - (Q_f * \text{SSVf})}{\text{SSVr} - \text{SSVf}}$$

Donde:

$Q_p$  = Gasto de purga de lodos

$\Delta \text{SSV}$  = Producción neta de biomasa

$Q_f$  = gasto de agua residual tratada

SSVf = Sólidos suspendidos volátiles en el agua residual tratada

SSVr = Sólidos suspendidos volátiles en la recirculación

## 6.3 TALLER DE CÁLCULOS

### 6.3.1 BALANCE DE MASA

A continuación se presentan una serie de cálculos para el control de dos reactores biológicos, uno de sistema convencional y otro de aeración extendida, estos a su vez están calculados con referencia al libro Ramalho, los reactores se consideran con mezcla completa. En la Figura 6.13 se muestran las principales corrientes y los datos iniciales son los que se muestran en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6 Datos iniciales del proceso de lodos activados.

Datos iniciales		CONVENCIONAL		AERACIÓN EXTENDIDA	
		L/s	m <sup>3</sup> /d		
Gasto	Q	75.00	6480.00		
		mg/L	Kg/m <sup>3</sup>	mg/L	Kg/m <sup>3</sup>
Demanda bioquímica de oxígeno de entrada	DBO <sub>e</sub>	300.00	0.30		
Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado	SSVLM	2500.00	2.50	3500.00	3.50
Sólidos suspendidos volátiles en el lodo de recirculación	SSV <sub>r</sub>	10000.00	10.00	10000.00	10.00
Sólidos suspendidos volátiles iniciales	SSV <sub>i</sub>	20.00	0.02	20.00	0.02
Sólidos suspendidos volátiles a la salida	SSV <sub>s</sub>	30.00	0.03	30.00	0.03
Nitrógeno amoniacal inicial	SiNH <sub>3</sub>	45.00	0.05		
Nitrógeno amoniacal final	SeNH <sub>3</sub>	5.00	0.005		
Fósforo inicial	SiPT	4.00	0.004		
Fósforo final	SePT	1.00	0.001		
Volumen del reactor (m <sup>3</sup> )	V <sub>r</sub>	2000.00		7000.00	
Velocidad de consumo de sustrato, 17 a 30 (m <sup>3</sup> / kg d)	K	17.00			
Respiración endógena, 0.01 a 0.06 (1/d)	K <sub>d</sub>	0.03			
Metabolismo celular, 0.5 a 0.6 (kg SSVLM / kg DBO consumida)	Y	0.60			
Altitud sobre el nivel del mar (m)	At	1500.00			
Temperatura ambiente (°C)	T	25.00			
Coeficiente de transferencia de oxígeno, 0.04 a 0.16	r	0.08			

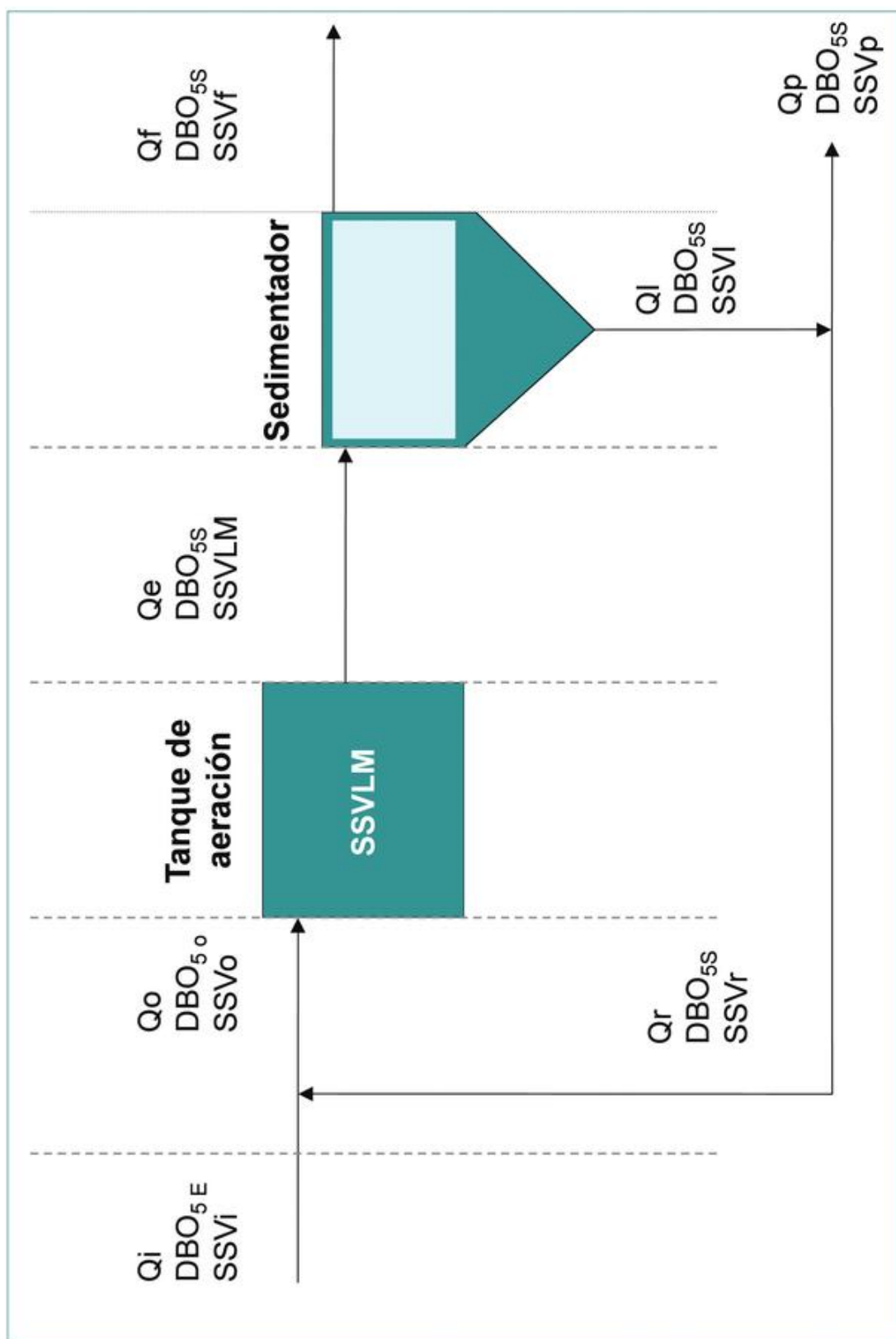


Figura 6.13 Esquema e identificación de corrientes

<b>a) Cálculo del tiempo de residencia</b>	<b>CONVENCIONAL</b>		<b>AERACIÓN EXTENDIDA</b>	
$tr = \frac{V}{Q}$	( 4 a 8 h)		(15 a 36 h)	
	h	min	h	min
tr = Tiempo de residencia	7.41	444.44	25.93	1555.56
<b>b) Cálculo de la DBO<sub>5</sub> de salida</b> $DBOs = \frac{DBOe}{(tr * k * SSVLM) + 1}$			DBOs = DBOe - (( tr*k*d*SSVLM) / (0.7*Y) )	
DBOs = Demanda bioquímica de oxígeno de salida	Kg/d	min	s	Kg/d
	0.021	1.28	76.50	0.030
<b>c) Cálculo de la relación alimento / microorganismos</b> $\frac{A}{M} = \frac{Q * DBOe}{V * SSVLM}$	<b>CONVENCIONAL</b>		<b>AERACIÓN EXTENDIDA</b>	
	(0.2 a 0.6 Kg DBO <sub>5</sub> /kg SSVLM d)		(0.05 a 0.15 Kg DBO <sub>5</sub> /kg SSVLM d)	
A/M = Relación alimento / microorganismos	0.39			0.0793
<b>d) Cálculo de producción neta de biomasa</b> $\Delta SSV = Y * Q * (DBOe - DBOs) - Kd * SSVLM * Vr$	Kg/d	Kg/h	mg/s	Kg/h
				mg/s
$\Delta SSV =$ Producción neta de biomasa	933.78	38.91	3.36	315.00
				1.13
<b>e) Cálculo de la relación de recirculación</b> $R = \frac{(Q * SSVLM) - \Delta SSV}{Q * (SSVr - SSVLM)}$			$R = \frac{SSVLM - (0.3 Y * (DBOe - DBOs))}{SSVr - SSVLM}$	
R = Relación de recirculación	0.31			0.53
<b>f) Cálculo del gasto de recirculación</b> $Qr = R * Q$ $Qr =$ Gasto de recirculación	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /h	L/s	m <sup>3</sup> /d
	2035.50	84.81	23.56	3452.08
				143.84
				39.95



g) Cálculo del gasto combinado $Q_0 = Q + Q_r$ $Q_0 =$ Gastos combinado	$m^3/d$	$m^3/h$	$L/s$	$m^3/d$	$m^3/h$	$L/s$	$m^3/d$	$m^3/h$	$L/s$
	8515.50	354.81	98.56	9932.08	413.84	114.95			
h) Cálculo del gasto de purga de lodos $Q_p = \frac{\Delta SSV - (Q * BDOs)}{SSV_r - SSV_s}$	$m^3/d$	$L/h$	$L/s$	$m^3/d$	$L/h$	$L/s$	$m^3/d$	$L/h$	$L/s$
	79.85	3326.96	0.92	12.14	505.68	0.14			
i) Cálculo del gasto de lodo de salida del sedimentador $Q_l = Q_p + Q_r$ $Q_l =$ gasto de salida del sedimentador secundario	$m^3/d$	$m^3/h$	$L/s$	$m^3/d$	$m^3/h$	$L/s$	$m^3/d$	$m^3/h$	$L/s$
	2115.35	88.14	24.48	3464.22	144.34	40.10			
j) Cálculo del gasto de salida $Q_s = Q - Q_p$ $Q_s =$ Gasto de agua clarificada o salida	CONVENCIONAL			AERACIÓN EXTENDIDA					
	$m^3/d$	$m^3/h$	$L/s$	$m^3/d$	$m^3/h$	$L/s$	$m^3/d$	$m^3/h$	$L/s$
	6400.15	266.67	74.08	6467.86	269.49	74.86			
k) Cálculo de la DBO a la entrada del tanque de aeración $DBO_0 = \frac{(Q_i * DBO_e) + (Q_r * DBO_s)}{Q_0}$ $DBO_0 =$ DBO a la entrada del tanque de aeración	$Kg/m^3$	$mg/L$		$Kg/m^3$	$mg/L$				
	0.23	233.37		0.21	206.14				
l) Cálculo de los SSV a la entrada del tanque de aeración $SSV_0 = \frac{(Q * SSV_i) + (Q_r * SSV_r)}{Q_0}$ $SSV_0 =$ Sólidos suspendidos volátiles a la entrada del reactor	$kg/m^3$	$mg/L$		$kg/m^3$	$mg/L$				
	2.41	2405.56		3.48	3475.68				

Estos deben ser iguales o muy próximos a los SSVLM	2.50	3.50	
m) Tiempo medio de retención celular (edad de lodos)			
$TMRC = \frac{SSVLM * V_r}{\Delta SSV}$	5 a 15 d	20 a 60 d	
TMRC = Tiempo medio de retención celular	5.35	77.78	

En la Figura 6.14 se muestra un resumen de los valores antes calculados para el proceso convencional y localizado en su respectiva corriente.

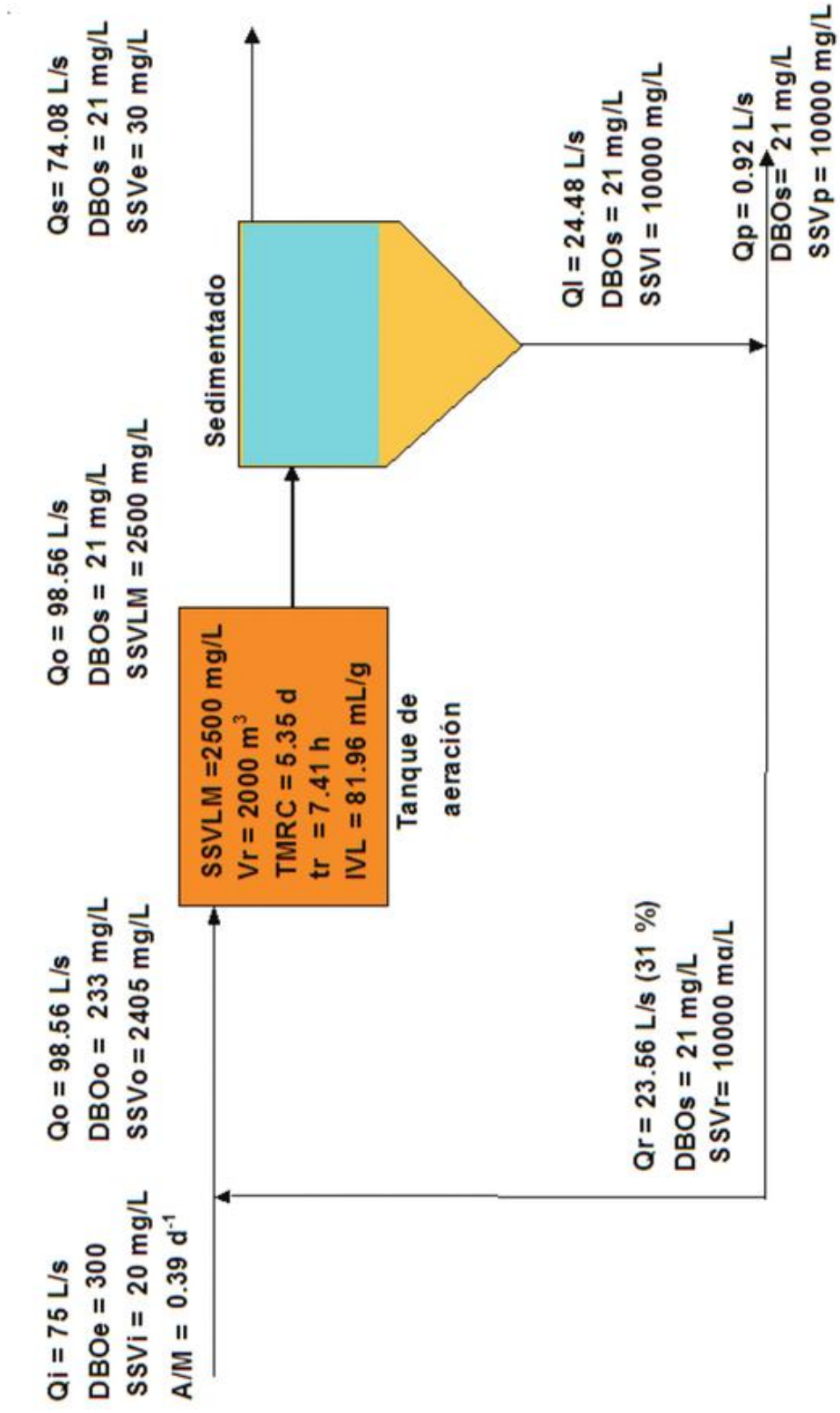


Figura 6.14 Resumen del balance de masas del proceso convencional

En la Figura 6.15 se muestra un resumen de los valores antes calculados para el proceso de aeración extendida y localizados en su respectiva corriente.

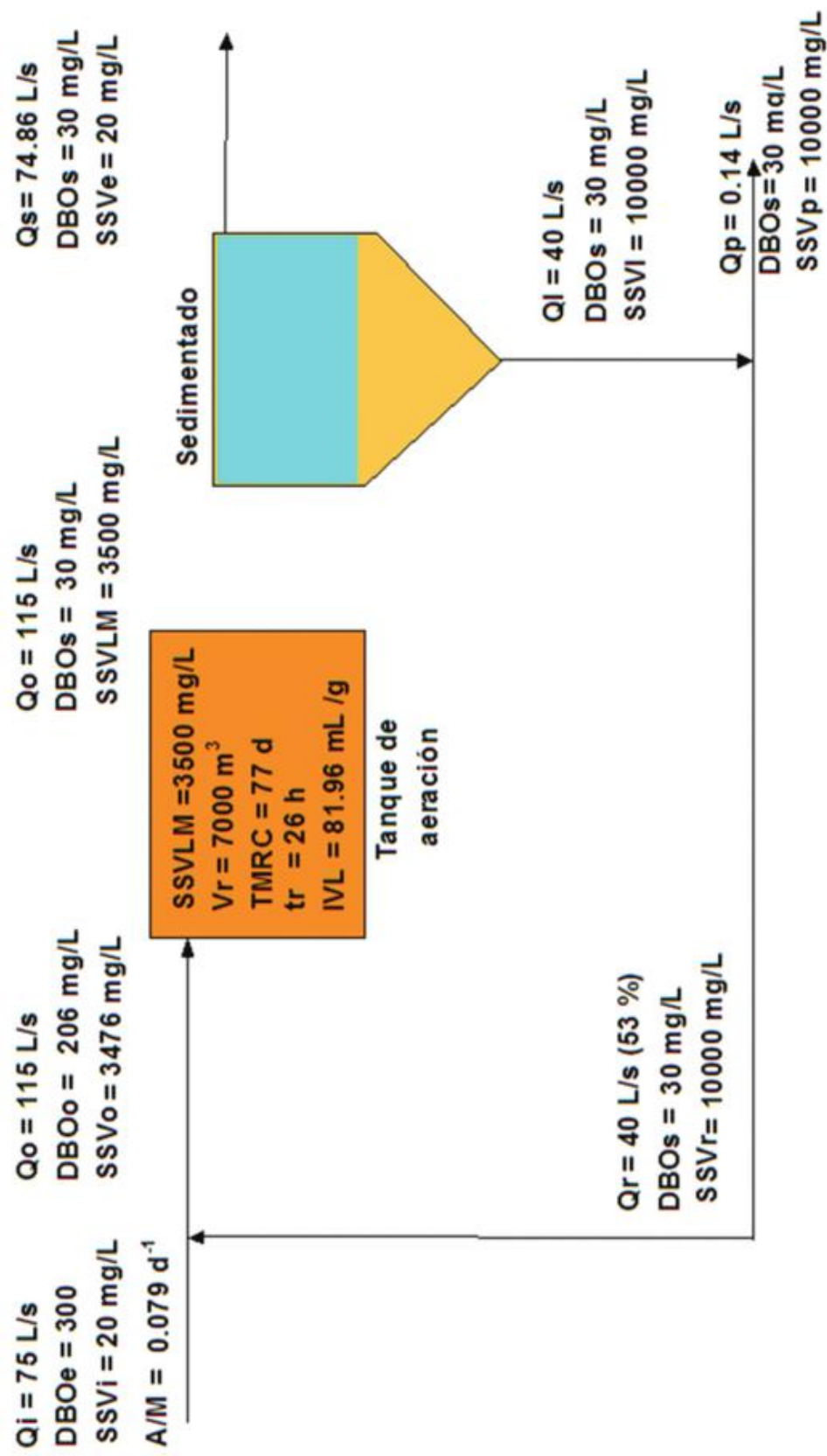


Figura 6.15 Resumen del balance de masas del proceso de aeración extendida

### 6.3.2 REQUERIMIENTOS DE AIRE

n) Volumen de aire		
Consumo de oxígeno		
$C_5H_7NO_2 + 5O_2 \rightarrow 5CO_2 + 2H_2O + NH_3$		
113 + 5*32		
(5*32) / 113 = 1.42 Unidades de O <sub>2</sub> / Unidad de biomasa oxidada		
	CONVENCIONAL	AERACIÓN EXTENDIDA
Oxígeno por oxidación de materia orgánica	Kg O <sub>2</sub> / d	Kg O <sub>2</sub> / d
	480.33	1302.70
Más nitrificación	Kg O <sub>2</sub> / d	Kg O <sub>2</sub> / d
	1664.88	2487.24
Con nitrificación menos formación de células	Kg O <sub>2</sub> / d	Kg O <sub>2</sub> / d
	1602.67	2425.04
Volumen de aire	m <sup>3</sup> / d	m <sup>3</sup> / d
	99027.92	149841.6
VA = Kg O <sub>2</sub> /d / ((-0.00003*At - 0.0009*T + 0.2698) * r)	L/s	L/s
	1146.16	1734.28



### 6.3.3 REQUERIMIENTOS DE NUTRIENTES

o) Requerimiento de nutrientes		
Composición de un microorganismo		
$C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P = 1374 \text{ g/mol}$		
Nitrógeno = $168 / 1374 = 0.122$		
Fósforo = $31 / 1374 = 0.023$		
Nutrientes disponibles		
ND = Nitrógeno disponible		
$ND = Q^*SiNH_3 - Q_s^*SeNH$		
PD = Fósforo disponible		
$PD = Q^*SiPT - Q_s^*SePT$		
Nutrientes requeridos para formación de microorganismos (NM)		
NM = Nitrógeno requerido por microorganismos		
$NM = 0.122 * \Delta SSV$		
PM = Fósforo requerido por microorganismos		
$PM = 0.023 * \Delta SSV$		
Balance de nutrientes		
$BN = ND - NM$		
$BP = PD - PM$		
Se requiere adicionar fósforo al sistema convencional		

### 6.3.4 RESUMEN DE RESULTADOS

La Tabla 6.7 muestra los resultados obtenidos por los sistemas convencional y aeración extendida, así como de parámetros recomendados por la literatura Tabla 6.8.

Tabla 6.7 Resultados del control de proceso de lodos activados

Parámetro	Convencional	A. Extendida
tr (h)	7.41	25.93
DBO5 (mg/L)	0.021	0.03
A/M (d <sup>-1</sup> )	0.39	0.079
ΔSSV (kg/d)	933.78	315.00
R	0.31	0.53
Qr (L/s)	23.56	39.95
Qo (L/s)	98.56	114.95
Qp (L/s)	0.92	0.14
Ql (L/s)	24.48	40.00
Qs (L/s)	74.08	74.86
DBOo (mg/L)	233.00	206.00
SSVo (mg/L)	2405.00	3476.00
TMRC (d)	5.35	77.78
Kg O <sub>2</sub> /d	1602.67	2425
Vol. de aire (m <sup>3</sup> /d)	99028	149841

Tabla 6.8 Comparación de resultados con parámetros recomendados

Proceso	Tipo de flujo	TMRC (d)	A/M	SSLM (mg/L)	Recir. (%)	IVL (ml/g)	tr (h)
Convencional	Recomendado						
	Completamente mezclado	5-15	0.2-0.6	1500-5000	25 a 100	150 a 350	3-8
	Ejercicio						
	Completamente mezclado	5.35	0.39	2500	31	81.96	7.41
Aeración extendida	Recomendado						
	Completamente mezclado	20-30	0.05-0.15	3000-6000	50-150	150 a 350	18-36
	Ejercicio						
	Completamente mezclado	77.78	0.079	3500	53	81.96	25.93

Los resultados muestran que ambos sistemas generaron una buena remoción de materia orgánica, sin embargo, en el sistema convencional los requerimientos de oxígeno son menores que en el de aeración extendida, pero en la generación de lodos los papeles se invierten. Esto hace pensar que en sistema convencional se deberá invertir en tratamientos de lodos y en aeración extendida en pago de energía.

Es importante que una vez realizados los cálculos de las condiciones de operación actuales, los resultados sean comparados con los del diseño de la PTAR o en último caso con los recomendados por la literatura (Tabla 3.2). Esto proporcionará información para realizar los ajustes necesarios para obtener una correcta operación y por lo tanto un agua residual tratada de buena calidad.

## 6.4 REGISTRO DE OPERACIÓN

Una de las funciones más importantes de un operador es la preparación y mantenimiento adecuado del registro de los datos que se generan en la misma. Los registros de operación pueden ser separados en dos categorías:

- a) Registros físicos
- b) Registros de desempeño

### 6.4.1 REGISTROS FÍSICOS

Estos registros describen las instalaciones y equipos de la planta e incluyen:

- a) Criterios de diseño de la planta
- b) Planos de la planta
- c) Manual de operación
- d) Registro de equipos que incluya
  - Nombre del proveedor
  - Fecha de compra
  - Modelo
  - Capacidad
  - Principales características
- e) Registro del mantenimiento de cada equipo
- f) Registros de costos de compra y reparación de equipos

### 6.4.2 REGISTROS DE DESEMPEÑO

Estos registros describen la operación de la planta y proveen de información tanto al operador como a cualquier persona que lo requiera, ya que es en realidad un registro histórico. Estos resultados o registros deberán ser utilizados por el operador para resolver los problemas que se presenten en el proceso y para anticiparse a necesidades futuras.

Además, los registros también pueden ser empleados para requerimientos legales o de regulación establecidos por el gobierno. Los posibles registros pueden ser los siguientes:

- a) Registros de operación diario que incluyan
  - Operador en turno, fecha, hora de entrada y salida
  - Recepción de agua residual
  - Operación de equipos electromecánicos
  - Determinaciones de gasto de entrada
  - Operación del sistema de tratamiento de agua residual
  - Operación del sistema de tratamiento de lodos
  - Evaluación de indicadores visuales
- b) Registro de calidad del agua
  - Parámetros de campo en la entrada y salida, conductividad, pH, temperatura, color y turbiedad
  - Pruebas de sedimentabilidad
  - Determinación del índice volumétrico de lodos
  - Determinación del manto de lodos
  - Determinación del cloro residual
  - Determinación de los parámetros de control;  $\text{DBO}_5$  de entrada y salida, SSV del licor mezclado, de recirculación y de salida, etc.
- c) Registro de fallas de equipo
- d) Registro de reactivos
- e) Elaboración de reportes
  - Diarios
  - Semanales
  - Mensuales
  - Anuales

En el “Anexo A” se presentan algunos formatos que pueden dar idea de cómo registrar la información diaria de operación y que puede ser empleada para elaborar los reportes requeridos.

Las posibles actividades de operación de las diferentes unidades se describen a continuación:

#### 6.4.2.1 REJILLAS

Es importante tomar en consideración el flujo de agua que entra en las horas pico, ya que probablemente será el momento en que lleguen más sólidos grandes a la PTAR.

Por lo que los operadores deberán estar preparados para realizar las limpiezas de las rejillas con más frecuencia, para evitar taponamientos, si éstas son manuales, pero si son automáticas se deberá considerar la capacidad del contenedor y realizar recorridos para evitar atascamientos.

Se recomienda:

- a) Verificar que no exista corrosión en las rejillas. Si existe, examinar el fondo del canal por posible acumulación de materia orgánica que esta generando condiciones anaerobias y por lo tanto ácido sulfhídrico.
- b) Realizar un buen programa de recolección y disposición de basura, para evitar malos olores y generación de insectos.
- c) Lavar el área circundante diariamente con una solución de cloro o de peróxido de hidrógeno.

#### 6.4.2.2 SEDIMENTADOR PRIMARIO

En esta unidad si no se realiza una buena operación se pueden presentar problemas de olor, que puede ser generado por un mal retiro de natas o que los lodos permanecen mucho tiempo en la unidad generando condiciones anaerobias, además se provoca una sobrecarga de sólidos y DBO hacia el tratamiento secundario.

Se recomienda:

- a) Remover los sólidos acumulados en la entrada y salida del agua, en mamparas, vertedores y caja de recolección de natas. Así, como cepillar las canaletas de recolección de agua.
- b) Determinar el nivel de lodos y su concentración y verificar el flujo de purga.
- c) Verificar el retiro de natas y su correcta eliminación.

#### 6.4.2.3 REACTOR BIOLÓGICO

La operación efectiva del equipo de aeración mecánica debe minimizar el consumo de energía y maximizar su funcionamiento. La operación se enfocará al control de la concentración de oxígeno disuelto en el líquido aerado y proporcionar la mezcla mínima requerida en el sistema.

Generalmente, la concentración de oxígeno disuelto se establece entre 1 y 2 mg/L, a temperaturas cercanas a los 20 °C; el consumo de energía para proporcionar 4 mg/L de oxígeno en lugar de 2 mg/L puede aumentar entre un 5 y 40%.



Debido a que el consumo de energía en aeración es uno de los mayores costos de operación de la planta no se debe sobreoxigenar el licor mezclado.

Las técnicas de control dependen totalmente del equipo de aeración.

Se recomienda:

- a) Verificar diariamente la distribución de agua de entrada y de los lodos de retorno, así como, de salida.
- b) Limpiar diariamente entradas y salidas de agua y retirar la materia flotante.
- c) Verificar y registrar cada dos horas el oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura y sólidos suspendidos (SS).
- d) Realizar dos veces por día el índice volumétrico de lodos (IVL).
- e) Verificar diariamente el color y olor del licor mezclado.

#### 6.4.2.4 SEDIMENTADOR SECUNDARIO

En esta unidad, al igual que en el primario, si no se realiza una buena operación se pueden presentar problemas de olor, que puede ser generado por un mal retiro de natas o que los lodos permanecen mucho tiempo en la unidad generando condiciones anaerobias, además se provoca una sobrecarga de sólidos y DBO fuera de especificaciones y repercute en el proceso de desinfección.

Se recomienda:

- a) Remover los sólidos acumulados en la entrada y salida del agua, en mamparas, vertedores y caja de recolección de natas. Así, como cepillar las canaletas de recolección de agua.
- b) Determinar el nivel de lodos, su concentración y verificar el flujo de purga.
- c) Verificar el retiro de natas y su correcta eliminación.
- d) Verificar el flujo de retorno de lodos y realizar ajustes de acuerdo a indicaciones de laboratorio.

#### 6.4.2.5 CLORACIÓN

Es uno de los procesos unitarios en los que se debe tener especial cuidado por que en él se realiza la eliminación de coliformes fecales, los cuales pueden tener un impacto

negativo, en especial sobre la salud humana, si estos no son removidos adecuadamente. Es por esto que se requiere un especial cuidado en determinar la dosis adecuada del desinfectante. Por otro lado, si se trabaja con una sobredosis se afectará directamente el costo de operación.

Un aspecto importante a considerar, es que si los procesos unitarios anteriores presentan deficiencias de operación, la materia orgánica que no se removi6 será oxidada en esta unidad incrementando la dosis de desinfectante y por lo tanto los costos de operación.

Se recomienda:

- a) Verificar diariamente la concentración de la solución de cloro, las bombas de agua de dilución y presión de tanques de gas cloro.
- b) Verificar diariamente la concentración de cloro residual.
- c) Realizar al menos una vez por semana un análisis de coliformes fecales.

#### 6.4.2.6 ESPESADOR DE LODOS

En estas unidades es muy importante tomar en consideración el tiempo de residencia para evitar que el lodo presente condiciones anaerobias.

Se recomienda:

- a) Limpiar las paredes verticales, vertedores y canales diariamente.
- b) Verificar diariamente el nivel de lodos y ajustar de ser necesario.
- c) Verificar la concentración de SST de salida, ajustar de ser necesario.

### 6.5 PROBLEMAS OPERACIONALES Y ACCIONES CORRECTIVAS

Todas las plantas de tratamiento presentan problemas ocasionales o continuos; algunas veces no afectan sustancialmente al proceso, pero otras pueden pararlo parcialmente o totalmente, y algunas veces el funcionamiento de la planta es afectado en gran medida por causas puntuales o continuas.

El principal objetivo de cualquier intento de resolver problemas del proceso es **IDENTIFICAR LA CAUSA DEL PROBLEMA**. Solamente después de identificar la verdadera causa del problema se puede dar la solución 6ptima.

Es com6n que en las plantas de tratamiento se aplique un remedio tras otro, siendo esto llamado prueba y error, sin identificar la causa del problema.

En otras palabras, casi siempre lo que se trata de resolver es el síntoma del problema y pocas veces se tiene éxito, mientras que la causa y verdadera solución permanece sin identificar. Los síntomas pueden ser usados como pistas que lleven a la determinación de la causa del problema.

Existen muy pocas reglas que pueden utilizarse para intentar diagnosticar problemas del proceso de lodos activados. Sin embargo, los problemas que se presentan súbitamente, en general son fáciles de identificar, mientras que los que se presentan en un tiempo largo, o que se desarrollan lentamente son difíciles de determinar.

Si se presenta algún problema en la planta, debe ser caracterizado, recopilando la mayor cantidad de información relativa a como se presentó.

Una vez caracterizado, se intentará identificar el problema basándose en literatura consultada, interpretación de datos obtenidos, experiencias en la planta, y listado de múltiples causas posibles para ir eliminándolas de acuerdo con toda la información. Una vez definida la causa o las principales causas, se implantarán las acciones correctivas que resuelvan el problema.

Descripción de los pasos para establecer una la solución a los problemas de operación.

- a) Anotar y describir el problema.
- b) Caracterizar los síntomas del problema y su periodicidad.
- c) Comparar las características del problema con posibles causas asociadas.
- d) Si existen múltiples causas posibles asociadas al problema, realizar un listado y jerarquizarlas.
- e) Una vez definida la causa o causas, llevar a cabo el programa de acciones para remediar el problema.

A continuación se describen los principales problemas que se presentan en las diferentes operaciones unitarias de una PTAR y se darán las posibles causas que lo originan, así como las soluciones.

### **6.5.1** *BOMBAS*

- a) Las bombas no arrancan debido a: fusibles fundidos, control defectuoso o motor defectuoso. Revisar y corregir las siguientes condiciones:
  1. Fusibles y su capacidad
  2. Apagadores corridos, sucios o en mal estado
  3. Conexiones rotas
  4. Control automático desprogramado
  5. El motor puede tener un corto o estar quemado

- b) No sale agua por la línea de descarga, verificar que la succión no este tapada o que alguna válvula no este cerrada.
- c) La bomba tiene una descarga menor a la indicada debido a:
  - 1. Esta succionando aire
  - 2. El impulsor esta siendo frenado por basura o esta dañado
  - 3. La velocidad del motor no es la adecuada
  - 4. La descarga o la succión esta demasiado lejos o alta de acuerdo a especificaciones
  - 5. Existen válvulas parcialmente abiertas
- d) Consumos altos de energía por intervalos de tiempo pequeños pueden ser debido a:
  - 1. Taponamiento de tuberías
  - 2. Bandas mal alineadas o colocadas
  - 3. Velocidad de rotación del motor demasiado alta
  - 4. Válvulas de descarga parcialmente cerradas
  - 5. La flecha de la bomba esta doblada
  - 6. Los elementos de rotación están demasiado ajustados
- e) El ruido en una bomba puede ser ocasionado por:
  - 1. Cavitación
  - 2. La bomba no esta completamente cebada
  - 3. Entrada tapada
  - 4. La bomba no ha sido lubricada adecuadamente
  - 5. Cojinetes o impulsor gastados
  - 6. Defectos de fabricación

Generalmente, cuando se adquiere un equipo el proveedor proporciona un manual en el que se mencionan posibles problemas de operación y causas, así como la solución, como se muestra en la Figura 6.16.

### 6.5.2 *SEDIMENTADOR PRIMARIO*

- a) Si el agua de entrada es negra y con olor indica que está sufriendo una descomposición en el alcantarillado o que procede de una descarga industrial. Otra posibilidad es que el sobrenadante del digestor de lodos no esté bien estabilizado.

La posible solución es que se clore el agua antes de su entrada a la PTAR, que exista un control de verificación más estricto sobre las descargas de la industria y una mejor operación del digestor de lodos.

- b) Flotación de lodos, indica una acumulación excesiva de lodos en el fondo de la unidad que genera condiciones anaerobias. Las causas pueden ser; la rastra se dañó, una alta carga de sólidos en el influente, la tasa de purga de lodo es pequeña, la tubería de descarga de lodos se tapó o la bomba se dañó.

Las posibles soluciones son; reparar la rastra, aumentar la purga de lodos, destapar la tubería y/o reparar el equipo de bombeo.

Identificación y resolución de problemas		
<div> <div> <b>ADVERTENCIA</b>  Tensión Peligrosa </div> <div> <b>LA FALLA DE DESCONECTAR Y BLOQUEAR LA CORRIENTE ELÉCTRICA ANTES DE INTENTAR CUALQUIER MANTENIMIENTO, PUEDE CAUSAR CHOQUES, QUEMADURAS O LA MUERTE.</b> </div> </div>		
SÍNTOMA	CAUSA PROBABLE	ACCIÓN RECOMENDADA
<b>EL MOTOR NO ESTÁ FUNCIONANDO</b>  NOTA: Si el cortacircuitos se ABRE en forma repetida, NO lo reposicione. Llame a un electricista competente.	El protector térmico del motor está disparado. Cortacircuitos abierto o fusible quemado. El impulsor de la bomba está rozando o está atascado.	Deje enfriar el motor. Asegure una inmersión mínima de la bomba. Limpie los residuos de la carcasa y el impulsor. Determine la causa, llame a un electricista competente. Mida el consumo de corriente del motor. Si es dos o más veces más alto que lo especificado en la sección de "DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES", el impulsor está trabado, o los cojinetes o el eje del motor están dañados. Limpie los residuos de la carcasa y el impulsor; consulte con el comerciante.
a) Operación manual	El cable de alimentación está dañado.	La resistencia entre los conductores de alimentación debe ser igual a la especificada en los "DATOS DE INGENIERÍA". La resistencia entre los conductores de alimentación y tierra debe ser infinita. Si alguna lectura es incorrecta, llame a un electricista competente.
b) Operación automática	Conexión eléctrica inadecuada en el panel de control. Interruptor de nivel de líquido defectuoso.	Inspeccione el cableado del panel de control. Llame a un electricista competente. Con el interruptor desconectado, verifique la continuidad mientras activa el interruptor de nivel de líquido. Reemplace el interruptor, según sea requerido.
NOTA: Verifique el funcionamiento de la bomba en modo manual primero para confirmar la operación. Si la bomba funciona, los controles automáticos están defectuosos. Si la bomba no funciona, consulte arriba.	Nivel de líquido insuficiente para activar los controles. Los cables de nivel de líquido están enredados.	Deje que el nivel de líquido suba de 3 a 4 pulg. (76 mm - 101 mm) por encima del nivel de encendido. Desenrede los cables y asegure un funcionamiento sin restricciones.
<b>NO PUEDE APAGARSE LA BOMBA</b>	Los cables de nivel de líquido están enredados. La bomba está atascada con aire.	Desenrede los cables y asegure un funcionamiento sin restricciones. Apague la bomba durante aproximadamente un minuto, luego arránquela nuevamente. Repita hasta que el atascamiento con aire desaparezca. Si el atascamiento con aire persiste en un sistema con un tubo de válvula de retención, se puede taladrar un agujero de 0.188 pulg. (5 mm) en el tubo de descarga aproximadamente a 2" (51 mm) detrás de la conexión de descarga.
	El flujo de afluente está muy próximo a la capacidad de descarga de la bomba.	Podría requerirse una bomba de mayor capacidad.
<b>LA BOMBA ENTREGA POCO O NADA DE LÍQUIDO</b>	Válvula de retención instalada en sentido inverso, tapada o atascada en posición cerrada. Carga excesiva del sistema. Entrada de la bomba tapada. Tensión inadecuada o cableado incorrecto.	Revise la dirección de la flecha de flujo en la válvula y verifique el funcionamiento de la válvula. Consulte con el comerciante. Inspeccione y despeje, según sea requerido.
	La bomba está atascada con aire. El impulsor está gastado o dañado. Los controles de nivel de líquido están defectuosos o posicionados incorrectamente.	Verifique la rotación, la tensión y el cableado de la bomba. Consulte con un electricista competente. Consulte la acción recomendada arriba. Inspeccione el impulsor, reemplázelo si así se requiere. Inspeccione, reajuste o reemplace, según sea requerido.
<b>LA BOMBA CICLA EN FORMA CONSTANTE</b>	La válvula de retención de descarga no funciona. El área de contención de aguas negras es demasiado pequeña. Los controles de nivel de líquido están defectuosos o posicionados incorrectamente. Afluente excesivo para una bomba de este tamaño.	Inspeccione, repare o reemplace, según sea requerido. Consulte con el comerciante. Inspeccione, reajuste o reemplace, según sea requerido. Consulte con el comerciante.

Figura 6.16 Identificación y solución de problemas de una bomba

(Fuente: IMPEL de México)

- c) Acumulación de natas, puede ser debida a una frecuencia inadecuada de retiro, una carga alta en el agua de llegada, daño en la caja de recolección, o una desalineación del desnataador.

Las posibles soluciones son: aumentar la frecuencia de retiro, reparar la caja recolectora de natas y alinear el desnataador.

- d) Baja concentración de sólidos, puede ser ocasionada por cortos circuitos, una excesiva purga de lodos o un flujo en pulsaciones (con aire).



Las posibles soluciones son; verificar el estado de las mamparas, disminuir purga de lodos, verificar equipo de bombeo.

- e) Crecimiento de algas en canales y vertedores, provocada por acumulación de lodos y natas.

La posible solución es: una limpieza rutinaria.

- f) Corrosión en vertedores y mamparas, puede ser debida a condiciones anaerobias en la unidad.

Las posibles soluciones son; aumentar la purga de lodos, limpiar y pintar partes dañadas.

- g) El mecanismo de recolección de lodos presenta un esfuerzo mayor al recomendado. Esto puede ser ocasionado por una acumulación de lodos.

Las posibles soluciones son; aumentar la purga de lodos, destapar la tubería y/o reparar el equipo de bombeo.

### 6.5.3 REACTOR BIOLÓGICO

- a) Si el color del lodo es negro, indica que es viejo. Aumentar la purga.
- b) Si en la prueba del IVL el lodo:
  - 1. Sedimenta rápidamente y es de color negro y el sobrenadante es turbio, indica lodos viejos. Aumentar la purga.
  - 2. Si es esponjoso o disperso y de color café claro y sedimenta lentamente, indica lodos jóvenes. Aumentar la recirculación y no purgar.
- c) Presencia de espuma blanca o ligeramente café, indica falta de microorganismos en el sistema.

Aumentar la recirculación y no purgar hasta alcanzar niveles de SS requeridos en el licor mezclado.

- d) La concentración de oxígeno disuelto es cero mg/L, puede indicar que está llegando más carga orgánica o que la concentración de operación de SS se rebasó.

Aumentar la recirculación de lodos en el primer caso y en el segundo aumentar la purga.

- e) La concentración de oxígeno es mayor a 5 mg/L, esto puede indicar que la cantidad de microorganismos ha disminuido o que no hay.

Aumentar la recirculación y no purgar hasta que se restablezca la concentración de operación de SS en el licor mezclado.

- f) Se observa un gran burbujeo en el tanque, la posible causa es ruptura de difusores, los que se tendrán que reparar.
- g) Valores de pH por debajo de 6.5, indican acidificación del sistema o una alta nitrificación, las posibles causas son lodos viejos o altas concentraciones de nitrógeno amoniacal.

Las soluciones son aumentar la purga de lodos y controlar la entrada.

- h) Presencia de zonas muertas, las causas pueden ser provocadas por difusores fuera de operación o una baja aeración, la solución es reparar o aumentar la aeración. Si se cuenta con aeradores superficiales, es posible que están mal colocados o los tensores se aflojaron.

#### 6.5.4 *SEDIMENTADOR SECUNDARIO*

- a) Lodo abultado flotando en la superficie. La causa puede ser debida a presencia de organismos filamentosos y generalmente el IVL es mayor a 150 mL/g. Para comprobar será necesario realizar un análisis microscópico.

Las posibles soluciones son; incrementar el OD en el reactor biológico, si es menor a 1 mg/L, incrementar el pH por arriba de 7 unidades, agregar nitrógeno y fósforo, agregar al lodo de retorno de 5 a 6 mg/L de cloro, hasta obtener un IVL por debajo de 150 mL/g. Como el predominio de filamentosos se eliminarán con el cloro, es necesario aumentar la recirculación y disminuir la purga.

- b) Lodo café flotando en la superficie. La causa puede ser que la concentración de SS ha aumentado y los lodos no son recirculados de acuerdo al incremento o que el flujo de recirculación ha disminuido, lo que origina que el tiempo de residencia aumente, y a su vez se generen condiciones de desnitrificación en el fondo de la unidad. Estas condiciones producen nitrógeno gas, que al vencer la carga hidráulica forman burbujas que arrastran lodo hacia la superficie.

La solución es aumentar la recirculación si ésta ha disminuido o purgar si la concentración de operación de SS se ha rebasado. También es necesario verificar que la rastra este funcionando correctamente.

- c) Lodo negro flotando en la superficie. La causa puede ser que la concentración de SS ha aumentado y los lodos no son recirculados de acuerdo al incremento o que el flujo de recirculación ha disminuido, lo que origina que el tiempo de residencia aumente, y a su vez se generen condiciones anaerobias en el fondo de la unidad. Estas condiciones producen gas metano y ácido sulfhídrico, que al vencer la carga hidráulica forma burbujas que arrastran lodo hacia la superficie y le proporcionan un olor desagradable al agua.

La solución es aumentar la recirculación si ésta ha disminuido o purgar si la concentración de operación de SS se ha rebasado. También es necesario verificar que la rastra este funcionando correctamente.

- d) Si el efluente es turbio hay presencia de flóculos de cabeza de alfiler, las posibles causas pueden ser: lodos negros ó cafés por demasiada aeración. En el primer caso aumentar la purga, y en el segundo disminuir la aeración.
- e) También puede presentarse por problemas de condiciones anaerobias en el reactor, por lo que se deberá incrementar la aeración.
- f) Flotación de lodos cafés que cubren toda el área de sedimentación . Las posibles causas pueden ser: por intoxicación aguda o por presencia de grasas y aceites. La primera se presenta en horas y la segunda es debido a que el influente contenga más de 150 mg/L de G y A. En ambos casos se origina una alta mortalidad de microorganismos .

Las posibles soluciones son: identificar la fuente que originó la toxicidad aguda y cerrar la descarga. En el segundo caso instalar una trampa de grasas y aceites en el pretratamiento.

- g) Existe arrastre de sólidos por los vertedores, la posible causa es que el flujo se ha incrementado, o que los vertedores están mal nivelados.

Las soluciones son disminuir el flujo de agua o nivelar vertedores.

#### 6.5.5 CLORACIÓN

- a) Baja presión de cloro o una concentración baja de la solución, las causas pueden ser: el tanque esta casi vacío o la tubería esta tapada o la válvula esta dañada o si cuenta con evaporador, éste está dañado.

Las posibles soluciones son cambiar de tanque, destapar las tuberías, cambiar las válvulas y reparar el evaporador.

- b) Variaciones de la concentración de la solución de cloro. Puede ser causada por un mal funcionamiento de la bomba de dosificación o por una alta acumulación de sólidos en el tanque de contacto de cloro.

Si se cuenta con analizador en línea, verificar electrodos y la calibración. También, se puede deber a que los difusores se encuentran tapados, por lo que se deberá realizar una limpieza adecuada.

- c) La concentración de coliformes fecales no es la adecuada, las causas pueden ser una inadecuada dosificación de cloro, cortos circuitos o una alta acumulación de sólidos en el tanque de contacto.

Las posibles soluciones son:

Aumentar la dosis de cloro, verificar difusores, agregar mamparas y limpiar el tanque de contacto de cloro.

#### 6.5.6 *ESPESADOR DE LODOS*

- a) Mal olor o flotación de lodos de color negro pueden ser ocasionados por un incremento del tiempo de residencia, que genera condiciones anaerobias debido quizás a que el bombeo o retiro de lodos es bajo, además se incrementa el colchón de lodos.

El problema se puede solucionar agregando cloro o aire para eliminar el olor y aumentar la purga de lodos.

- b) La concentración de lodos a la salida es baja, ésta puede ser ocasionada por una extracción alta de los mismos y que no permite que estén el tiempo suficiente para alcanzar la concentración deseada. Otra causa puede ser un corto circuito ocasionada por una mala nivelación de los vertedores.
- c) Una sobrecarga en el torque (fuerza de arrastre) debida a una excesiva acumulación de lodos o a un objeto muy pesado que está atorando la rastra.

La solución puede ser agregando agua a chorro o agitando el lodo con una varilla,. Para retirar los objetos utilizar un garfio o vaciar la unidad.

- d) Flujo de lodos a intervalos debido a un sobre espesamiento de lodos.

La solución es introducir agua a chorro en las líneas y abrir en su totalidad las válvulas.

- e) Crecimiento de plantas en canales y vertedores debido a la acumulación de lodos. Limpiar diariamente con cepillo y agua a presión.

### 6.6 *ARRANQUE DE UNA PLANTA*

El arranque de cualquier proceso biológico, entre ellos el de lodos activados, se toma su tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso.

Un arranque típico se compone de dos fases: arranque mecánico y arranque del proceso. El proceso de lodos activados consiste en un tanque de aeración y un clarificador, y sus principales funciones son:

- a) Remoción de materia orgánica disuelta de aguas residuales, convirtiendo esta materia en forma insoluble (material celular).
- b) Separación de la materia insoluble del licor mezclado, para obtener un efluente claro.
- c) Recirculación inmediata del material celular sedimentado al tanque de aeración.

Se puede decir técnicamente que el proceso de tratamiento por lodos activados se ha estabilizado cuando se normalizan estas operaciones.

### 6.6.1 PREPARACIÓN PREVIA AL ARRANQUE

Para tener éxito en el arranque de la planta, se requiere una planeación cuidadosa. El proceso de lodos activados es demasiado complicado para que se realice por una sola persona. Además, los factores ambientales que afectan al proceso son muchos como para iniciar el arranque sin preparación previa.

Las actividades requeridas antes de arrancar son: análisis del agua residual, revisión del equipo electromecánico y revisión hidráulica de los tanques.

#### 6.6.1.1 ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL

Esta actividad es realmente importante, debido a que la PTAR de lodos activados ha sido diseñada bajo ciertos criterios o parámetros de calidad de agua residual, por lo que si el agua que se va a tratar está muy por arriba o por debajo de los concentraciones propuestas, se tendrá dificultad en el arranque y por tanto en la estabilización del proceso, lo que no permitirá alcanzar la calidad de agua residual tratada estipulada en el proyecto.

A continuación la Tabla 6.9 proporciona los parámetros principales a tomar en consideración. Esta tabla puede ser empleada como un formato guía.

Tabla 6.9 Calidad del agua residual y tratada

Parámetro	Diseño		Real	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Q = Gasto (L/s)				
DBO <sub>5</sub> = Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)				
DQO = Demanda química de oxígeno (mg/L)				
SST = Sólidos suspendidos totales (mg/L)				
SSV = Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)				
SSVLM = SSV en el licor mezclado (mg/L)				
SSVr = SSV en la recirculación (mg/L)				
NH <sub>3</sub> = Nitrógeno amoniacal (mg/L)				
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = Nitrógeno de nitratos (mg/L)				
NT = Nitrógeno Total (mg/L)				
PT = Fósforo total (mg/L)				
T = Temperatura (°C)				
pH = Potencial Hidrógeno				
A/M = Relación alimento microorganismos				
Grasas y aceites (mg/L)				



#### 6.6.1.2 REVISIÓN DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO

Como primera etapa de esta actividad se realiza un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso y posteriormente se hará una prueba de arranque y paro, en la cual también se verificará el giro de motores y si es posible amperaje, esto con la finalidad de verificar que no este obstruido o pegado el motor. Para tal efecto se empleará el formato 2 (Anexo B).

#### 6.6.1.3 REVISIÓN HIDRÁULICA DE LOS TANQUES

Una vez concluida la revisión de equipos y de reparación de fallas que se hayan presentado se procederá a realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas ó grietas en las paredes. De ser posible y si las unidades son pequeñas emplear agua potable o residual tratada. Esta será transferida de tanque en tanque. Tomar en cuenta que se requerirá de una o varias bombas sumergibles para agilizar la actividad.

Si se emplea agua residual cruda tomar en cuenta que si algún tanque presenta fugas, será necesario el empleo de una o varias bombas para desalojar toda el agua del tanque para su reparación y de las unidades que se han llenado previamente para evitar condiciones sépticas y que se generen malos olores.

Es conveniente antes de realizar esta actividad contar con diagramas esquemáticos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en éstos las fallas que se consideren pertinentes.

Uno de los sistemas más importantes es el de difusión de aire, por lo que a continuación se describe el procedimiento para verificar su buen funcionamiento:

- Agregar agua de primer uso al tanque de aeración a un nivel por debajo de difusor.
- Encender el sistema de aeración, para verificar que no existan fugas en las conexiones, si se presentan repararlas.
- Agregar más agua al tanque hasta alcanzar un nivel 10 cm por arriba del difusor (Foto 6.37).
- Encender el sistema de aeración, y verificar que no existan fugas en los difusores, si se presentan repararlas (Foto 6.38).
- Si no existen fugas, elevar el nivel del agua hasta la mitad del tanque.
- Verificar que no existan fugas, si se presentan repararlas.
- Si no existen fugas, llenar en su totalidad con agua residual.

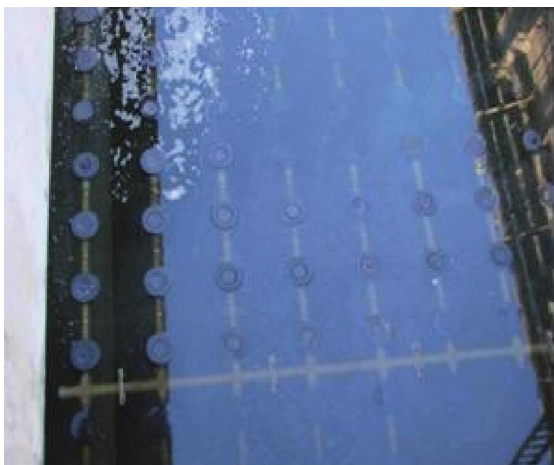


Foto 6.37 Llenado con agua



Foto 6.38 Sistema de aeración

### 6.6.2 ARRANQUE

Es muy importante tomar en consideración lo siguiente:

**NO ARRANCAR SI FALTAN EQUIPOS Y DETALLES DE CONSTRUCCIÓN**

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lodos activados se puede realizar bajo dos escenarios, con y sin inóculo, siendo considerado éste último como una situación difícil.

Por lo anterior, se realiza a continuación una descripción detallada de cada uno de los arranques de PTAR, considerando posibles contingencias, programa y/o calendario de actividades, materiales y equipos necesarios.

**ES IMPORTANTE ACLARAR QUE ESTA METODOLOGÍA ES PARA SISTEMAS DE AERACIÓN POR DIFUSORES DE BURBUJA FINA**

#### 6.6.2.1 ARRANQUE SIN INÓCULO

Una vez que se han cubierto las actividades previas al arranque, y suponiendo que todos los equipos mecánicos han sido probados y ajustados y que todos los tanques, sedimentador secundario y tuberías estén limpios, y que están parcialmente llenos con el agua de las pruebas, los pasos a seguir son:

### Primer día

- Introducir agua residual al tanque de aeración hasta la mitad de su capacidad (Foto 6.39) y arrancar la unidad de aeración. Al no existir microorganismos en el sistema, éstos comenzarán a formarse por lo que se generará una gran cantidad de espuma, es por esto que se recomienda llenar solo la mitad.
- Si se considera que la espuma puede salir del tanque, ésta deberá ser contenida mediante una cortina de agua (Foto 6.40).
- Mantener aerando por lo menos 24 horas.
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de  $2 \pm 0.5$  mg/L, verificar de ser posible cada hora.



Foto 6.39 Llenado hasta la mitad



Foto 6.40 Cortina de agua

### Segundo día

- Introducir agua hasta un 75% del volumen del tanque y mantener aerando por lo menos otras 24 horas. Vigilar la formación de la espuma y contener su desarrollo de ser necesario.
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de  $2 \pm 0.5$  mg/L, verificar de ser posible cada hora.

### Tercer día

- Llenar totalmente con agua residual el tanque y mantener aerando por lo menos otras 24 horas (Foto 6.41).
- Vigilar la formación de la espuma y contener su desarrollo de ser necesario.
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de  $2 \pm 0.5$  mg/L, verificar de ser posible cada hora.



Foto 6.41 Tanque a un 75% del volumen

#### Cuarto a décimo día

- Iniciar con un flujo continuo de agua residual, tomando en consideración un gasto del 25%.
- Vigilar la formación de la espuma y contener su desarrollo (Foto 6.42), de ser necesario
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de  $2 \pm 0.5$  mg/L, verificar de ser posible cada hora.
- Iniciar operación en el sedimentador con recirculación del 100%.



Foto 6.42 Tanque lleno

- Al cumplirse 24 horas de operación, analizar sólidos suspendidos totales y volátiles en el licor mezclado (SSTLM y SSVLM) para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el reactor biológico. Además, se tomarán muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) o en su defecto demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento. Iniciar el registro de la información en el formato 3 (Anexo B).

### Del día 11 al 15

- Continuar con un flujo continuo de agua residual y aumentar el gasto al 50%.
- Graficar los datos obtenidos hasta el momento y analizar la información con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento.
- Calcular recirculación y purga de lodos (Referirse a taller de cálculos) con la información anterior y realizar los ajustes necesarios.
- Continuar con recirculación del lodo al 100%.
- Vigilar la formación de la espuma y contener su desarrollo de ser necesario.
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de  $2 \pm 0.5$  mg/L, verificar de ser posible cada hora.
- Analizar SSTLM y SSVLM para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el reactor biológico. Además, se tomarán muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la DBO<sub>5</sub> o DQO y SST o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento.
- Continuar con el registro de la información en el formato 3.
- Iniciar con pruebas de sedimentabilidad y tomar registros cada 5 min por espacio de 30 min y graficar (volumen de lodo vs. tiempo). Establecer un horario fijo, uno por la mañana y otro por la tarde determinar el IVL.

$$\text{IVL} = (\text{mL de lodo} / \text{L}) / (\text{g de SST} / \text{L}) = \text{mL de lodo} / \text{g de SST}$$

Utilizar el formato 4 (Anexo B).

### Del día 16 al 20

- Continuar con un flujo continuo de agua residual y aumentar el gasto al 75%.
- Continuar graficando los datos obtenidos hasta el momento y analizar la información con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento.
- Calcular recirculación y purga de lodos, con la información anterior y realizar los ajustes necesarios.
- Vigilar la formación de la espuma y contener su desarrollo.
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de  $2 \pm 0.5$  mg/L, verificar de ser posible cada hora.
- Analizar SSTLM y SSVLM para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el reactor biológico. Además, se tomarán muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la DBO<sub>5</sub> o DQO y SST o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento.
- Continuar con registro de la información en el formato 3.
- Continuar con pruebas de sedimentabilidad y registros en formato 4.



## Día 20 al día 30

- Continuar con un flujo continuo de agua residual y aumentar el gasto al 100%.
- Continuar graficando los datos obtenidos hasta el momento y analizar la información con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento.
- Calcular recirculación y purga de lodos, con la información anterior y realizar los ajustes necesarios.
- Vigilar la formación de la espuma y contener su desarrollo de ser necesario.
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de  $2 \pm 0.5$  mg/L, verificar de ser posible cada hora.
- Analizar SSTLM y SSVLM para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el reactor biológico. Además, se tomarán muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la DBO<sub>5</sub> o DQO y SST o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento.
- Continuar con registro de la información en el formato 3.

En el “Anexo B” se encuentran los formatos vacíos. Estos podrán ser tomados como referencia y pueden ser modificados de acuerdo a las necesidades de la planta.

### 6.6.2.2 ARRANQUE CON INÓCULO

#### *a) Cálculo de requerimiento de inóculo*

##### **Si el inóculo proviene de recirculación**

Se toma como base la cantidad de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado que tendrá el reactor biológico y el volumen del mismo. Por ejemplo; 3,500 mg/L (3.5 kg/m<sup>3</sup>) y 4,354 m<sup>3</sup>. Además, el inóculo proviene de la recirculación, de otra PTAR con una concentración de 8,760 mg/L. Así, el requerimiento es de:

La masa requerida es de  $= 3.5 \text{ Kg/m}^3 * 4,354 \text{ m}^3 = 15,239 \text{ KgSST}$

El volumen de inóculo es de:  $15,239 \text{ Kg} / 8.76 \text{ Kg/m}^3 = 1,739.61 \text{ m}^3$

Esta sería la cantidad necesaria, pero como es demasiado grande se recomienda que se inocule con el 10%, esto sería de 173.96 m<sup>3</sup>. En la práctica como mínimo se recomienda no menos del 5%.

##### **Si el inóculo proviene de la caja de salida de los reactores biológicos**

Para el ejercicio se considera una concentración de 3,240 mg/L SST (3.24 kg/m<sup>3</sup>). Así, el requerimiento es de:

La masa requerida es de  $= 3.5 \text{ Kg/m}^3 * 4,354 \text{ m}^3 = 15,239 \text{ Kg}$

El volumen de inóculo es de:  $15,239 \text{ Kg} / 3.24 \text{ Kg/m}^3 = 4,703 \text{ m}^3$

Esta sería la cantidad necesaria, pero como es demasiado grande se recomienda que al menos se inocule con el 5% como mínimo, esto sería de  $155.22 \text{ m}^3$ .

El inóculo será agregado en la caja de llegada de agua residual y para facilitar la estabilización del sistema, es conveniente se agregue el inóculo durante los primeros cinco días de arranque.

Para poder llevar un registro del volumen de inóculo que se esta agregando al reactor biológico se recomienda el uso del formato 5 (Anexo B).

### *b) Operación*

#### **Primer a quinto día**

- Una vez lleno el tanque de aeración con agua residual y el sistema de aeración operando, agregar el inóculo, según sea el origen del mismo.
- Iniciar con un gasto de entrada al 25%.
- Iniciar operación en el sedimentador con recirculación del 100%.
- Vigilar la formación de la espuma y contener su desarrollo de ser necesario.
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de  $2 \pm 0.5 \text{ mg/L}$ , verificar de ser posible cada hora.
- Al cumplirse 24 horas de operación, analizar sólidos suspendidos totales y volátiles en el licor mezclado (SSTLM y SSVLM) para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el reactor biológico. Además, se tomarán muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ) o en su defecto demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) o turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento. Iniciar el registro de la información en el formato 3 (Anexo B).
- Iniciar con pruebas de sedimentabilidad y tomar registros cada 5 min por espacio de 30 min y graficar (volumen de lodo vs. tiempo). Establecer un horario fijo, uno por la mañana y otro por la tarde.
- Utilizar el formato 4 (Anexo B) y determinar el índice volumétrico de lodos (IVL).

$$\text{IVL} = (\text{mL de lodo} / \text{L}) / (\text{g de SST} / \text{L}) = \text{mL de lodo} / \text{g de SST}$$

#### **Sexto a décimo día**

- Aumentar el gasto de entrada al 50%.
- Vigilar la formación de la espuma y contener su desarrollo.

- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de  $2 \pm 0.5$  mg/L, verificar de ser posible cada hora.
- Analizar SSTLM y SSVLM para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el reactor biológico. Además, se tomarán muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la DBO<sub>5</sub> o DQO y SST o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento.
- Calcular recirculación y purga de lodos (Referirse al taller de cálculos) con la información anterior y realizar los ajustes necesarios.
- Continuar con registro de la información en el formato 3.
- Continuar con pruebas de sedimentabilidad y registros en formato 4.

#### A partir del día 11

- Aumentar el gasto de entrada al 100%.
- Vigilar la formación de la espuma y contener su desarrollo.
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de  $2 \pm 0.5$  mg/L, verificar de ser posible cada hora.
- Analizar SSTLM y SSVLM para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el reactor biológico. Además, se tomarán muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la DBO<sub>5</sub> o DQO y SST o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento.
- Calcular recirculación y purga de lodos, con la información anterior y realizar los ajustes necesarios.
- Continuar con registro de la información en el formato 3.
- Continuar con pruebas de sedimentabilidad y registros en formato 4.

En el “Anexo B” se encuentran los formatos vacíos. Estos podrán ser tomados como referencia y pueden ser modificados de acuerdo a las necesidades de la planta.

#### 6.6.3 TRANSICIÓN DEL ARRANQUE

Es difícil determinar cuándo termina el arranque y cuándo inicia la operación normal; por esta razón, a continuación se enlistan algunas formas de conocer si ya se ha llegado a la operación normal de la planta.

- Graficar la eficiencia de remoción contra el tiempo (días). Los valores similares de eficiencias esperadas durante varios días, tal vez indique que ya se está en una operación normal.
- Graficar las concentraciones de SST, DBO<sub>5</sub> o DQO del efluente contra el tiempo. La concentración caerá hasta valores esperados o de diseño.
- Determinar si la concentración de SSVLM es la deseada en el reactor biológico.

- Determinar si la concentración en el efluente en relación a nutrientes se ha establecido de acuerdo al diseño.
- Calcular la purga de lodos y determinar si se ha establecido de acuerdo al diseño.
- Determinar si se ha logrado la relación A/M óptima, de acuerdo al diseño.
- Determinar si se ha logrado la edad de lodos de acuerdo al diseño.
- Comprobar que la utilización de OD está en los rangos comunes.
- Ajustar la recirculación a su valor.

#### 6.6.4 PROBLEMAS TÍPICOS EN EL ARRANQUE

En el arranque puede presentarse cualquier número de problemas, por eso los preparativos previos al arranque son importantes. Aún así, es casi seguro que surja algún problema. A continuación se presentan los problemas típicos más comunes en el proceso de arranque de plantas de tratamiento. Los problemas en equipos no se han incluido, pues cada proveedor lo debe resolver.

##### 6.6.4.1 ESPUMA

Como ya se mencionó, ésta es causada principalmente por detergentes y formación de microorganismos jóvenes y en la medida que la población se vaya incrementado y éstos se constituyan como conglomerados bacterianos o flóculos, su generación irá en decremento. Su formación se puede regular controlando la cantidad de agua residual que entra al reactor biológico, esto es, iniciando con un 20% del gasto de diseño y conforme pasan los días ir incrementando el flujo hasta llegar al 100% del gasto de diseño.

Si la espuma corre el riesgo de salir del reactor se puede controlar mediante una cortina de agua.

##### 6.6.4.2 SEDIMENTACIÓN DE LODOS BIOLÓGICOS

Los problemas de sedimentabilidad de lodos o formación de flóculos en el arranque son ocasionados por falta de microorganismos o porque la recirculación y/o purga de lodos no se realiza adecuadamente. A continuación se presentan la Tabla 6.10 con los principales problemas, síntomas y sus causas.

Tabla 6.10 Principales problemas de sedimentación

Tipo de problema	Síntomas	Causa
Abultamiento de lodos	Flóculo grande distribuido en todo el sedimentador, pobre compactación del manto de lodos, predominancia de organismos filamentosos.	Sobrecarga orgánica, relación A/M incorrecta, deficiencia de nutrientes.
Solución	Aumentar recirculación y disminuir purga. Disminuir el gasto de entrada.	
Flotación de lodos	Sólidos biológicos flotan en la superficie del sedimentador.	Demasiado tiempo de retención en el sedimentador.
Solución	Tratar de establecer que la recirculación de lodos sea lo mas continua posible.	
Flóculo roto	Flóculo pequeño, flotante, sobrenadante turbio.	Toxicidad, deficiencia de nutrientes, exceso de carga orgánica.
Solución	Aumentar la recirculación de lodos. Disminuir el gasto de entrada. Agregar nutrientes. Determinación de metales.	
Flóculo disperso	Flóculo pequeño y ligero, sobrenadante claro.	Edad de lodos baja
Solución	Aumentar la recirculación de lodos. Disminuir la purga de lodos.	
Flóculo cabeza de alfiler	Flóculo pequeño y pesado, efluente turbio, flóculo de rápida sedimentación.	Edad de lodos alta
Solución	Disminuir la recirculación de lodos. Aumentar la purga de lodos.	

#### 6.6.4.3 BAJA REMOCIÓN DE $\text{DBO}_5$

Puede ser debido a que aún no se ha logrado la concentración deseada de SSVLM o a que la recirculación y la purga de lodos no se han alcanzado el equilibrio deseado.

#### 6.6.4.4 TEMPERATURA Y CONDICIONES CLIMÁTICAS DESFAVORABLES

Las épocas estacionales están ligadas directamente con la temperatura ambiente y estas condiciones pueden favorecer o desfavorecer el desarrollo microbiológico, más específicamente en su metabolismo.

Así, en condiciones de verano el incremento de la temperatura favorece el metabolismo celular y los microorganismos se reproducirán más rápidamente. Sin embargo, en condiciones de invierno el metabolismo celular se ve reducido por lo que la estabilización del sistema tomará más tiempo de lo planeado.



## 6.7 MANUAL DE OPERACIÓN

Por definición, del diccionario de la lengua española, se tiene;

**Manual** = Libro en que se compendia lo más sustancial de una materia.

**Operación** = Acción y efecto de operar.

**Operar** = Obrar, trabajar, ejecutar diversos menesteres u ocupaciones. Maniobrar, llevar a cabo alguna acción con auxilio de aparatos.

Por lo anterior se puede establecer entonces que un manual de operación de una PTAR es:

Libro que compendia los trabajos, obra y diversos menesteres que se realizan en una PTAR

Tomando como premisa la definición anterior un manual de operación de una PTAR de lodos activado debe contener:

- Descripción breve del proceso
- Manera de ejecutar cada una de las tareas asignadas
- Consideraciones de operación
- Formatos o bitácoras de registro de operación
- Plano o diagrama de flujo lo más detallado que sea posible

### 6.7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Esta debe contener:

- Ubicación
- La modalidad del proceso de lodos activados que se va a operar.
- Parámetros de diseño, que contemple; calidad de agua de entrada y salida, caudal de agua mínimo, promedio y máximo
- Descripción breve de cada una de las operaciones unitarias
- Diagrama del proceso

Por ejemplo:

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El sistema de tratamiento de la planta está dividido en 4 áreas.

- Una es el pretratamiento del agua residual el cual cuenta con dos rejillas y dos desarenadores.
- La siguiente es el tren de tratamiento secundario del agua residual integrado por 2 zanjas de oxidación y 4 sedimentadores secundarios o clarificadores.
- La tercera es la desinfección terminal con 1 tanque de contacto de cloro.
- La última es el tratamiento de lodos compuesto por 2 digestores de lodos biológicos y tres lechos de secado.

Por lo anterior, es conveniente aclarar que la descripción del sistema, así como su operación se realizará tomando en consideración la división antes citada.

### Pretratamiento

El agua residual llega a un canal o cárcamo de llegada el cual tiene dos válvulas para controlar la entrada del flujo a la planta. La válvula de compuerta de demasías que desvía el exceso de agua residual, y la válvula de compuerta que regula la entrada del flujo de agua residual de la planta. Posteriormente el agua ingresa al cárcamo de bombeo y es conducida hasta los canales desarenadores por medio de las bombas sumergibles. Existen dos canales desarenadores, uno en operación y otro para limpieza. Al inicio del canal hay dos compuertas que sirven para seleccionar el canal que entra en operación. Después de estas compuertas el agua residual pasa por rejillas gruesas, donde se retira la basura que entra a la planta dejando pasar plumas y otras basuras finas. Posteriormente el agua cruza el canal desarenador donde se eliminan las arenas que lleva el agua residual, al final de los canales desarenadores el agua conserva su velocidad por medio de vertedores proporcionales, donde se controla el flujo y pasa a la caja de salida y de ahí el agua residual se envía por gravedad hacia el sistema de tratamiento secundario.

### Tratamiento secundario

El agua residual llega por gravedad a las zanjas de oxidación en donde será tratada para reducir la carga orgánica que contiene. El suministro de aire se hace por medio de aeradores tipo cañón, localizados en forma estratégica. Cada zanja de oxidación tiene 4 aeradores. Después, el agua con microorganismos entra a los sedimentadores secundarios o clarificadores, en los que el agua tratada se separará de los microorganismos y se clarificará. En este tipo de procesos es importante mantener una concentración constante de sólidos suspendidos totales o volátiles en el reactor biológico, por lo que se deben recircular los lodos. Esta operación se realiza mediante una bomba de lodos. Adicionalmente, cada sedimentador cuenta con un sistema desnatador que se controla por una válvula desnatadora. Las natas se descargan en una fosa de lodos y desde allí pueden ser enviadas al reactor biológico o al digestor de lodos. Cada sedimentador tiene una válvula para venteo de gases.

### **Desinfección**

El agua residual tratada ingresa al tanque de contacto de cloro para que se eliminen todas los coliformes fecales presentes. Anterior a este proceso es necesario contar con una solución de cloro, para lo cual se cuenta con un sistema de cloro gas. Este se regula por medio de un dosificador de cloro y posteriormente se diluye con agua clarificada por medio de bombas y se inyecta directamente a la entrada del tanque de contacto. Finalmente el agua tratada y clorada se envía a un arroyo.

### **Tratamiento de lodos**

Debido a que el sistema de tratamiento de aguas residuales es por medio de zanjas de oxidación, se generará un exceso de microorganismos, por tal motivo es necesario sacarlos del sistema y darles un tratamiento. Así, los lodos que son purgados de los sedimentadores secundarios se envían a los digestores de lodos, donde se les inyecta aire por medio de sopladores con el propósito de estabilizarlos. Finalmente, cuando el lodo biológico ha alcanzado la estabilización deseada, se envía por gravedad hacia lechos de secado, en donde será deshidratado primero por filtración y posteriormente por evaporación.

## **6.7.2 MANERA DE EJECUTAR CADA UNA DE LAS TAREAS ASIGNADAS**

La tarea a ejecutar debe contener:

- Objetivo e importancia de la operación unitaria dentro del tratamiento
- Descripción de la operación unitaria
- Descripción paso a paso o de la manera mas detallada de cómo ejecutar la actividad, que sea de la manera mas simple, tratando de no emplear palabras rebuscadas
- Como apoyo se deben clasificar con clave de identificación a las unidades de operación, equipo electromecánico, accesorios, etc. De ser posible integrar un listado de los equipos con ubicación y clave. Con la finalidad de que el operador pueda realizar las acciones de una manera fácil y rápida (Tabla 6.11).
- Un diagrama de la operación unitaria, con la clasificación antes citada se presenta en la 6.11.

Tabla 6.11 Clasificación de unidades con clave de identificación

TRATAMIENTO BIOLOGICO			
Nomenclatura	Descripción	Localización	Función
ZO-01	Zanja de oxidación 01	Norte de la PTAR	Tratamiento biológico del A.R.
ZO-02	Zanja de oxidación 02	Norte de la PTAR	Tratamiento biológico de A.R.
AE 01/02/03/04	Aeradores tipo cañón	Zanja de oxidación-01	Suministro de aire al proceso biológico
AE 05/06/07/08	Aeradores tipo cañón	Zanja de oxidación-02	Suministro de aire al proceso biológico
VC-05	Válvula de compuerta -05	Zanja de oxidación 01	Entrada de agua residual a ZO-01
VC-06	Válvula de compuerta -06	Zanja de oxidación 02	Entrada de agua residual a ZO-02
VC-07	Válvula de compuerta -07	Zanja de oxidación 01	Salida del agua residual de ZO-01
VC-08	Válvula de compuerta -08	Zanja de oxidación 02	Salida del agua residual de ZO-02

### Zanjas de oxidación

El agua residual con el flujo controlado pasa por gravedad a las zanjas de oxidación (ZO-01 y ZO-02). Cada zanja de oxidación tiene una válvula de entrada, así; ZO-01, tiene la VA-01 y la ZO-02 la VA-02. Estas válvulas operan normalmente abiertas. Estas válvulas sólo se cerrarán para sacar de operación alguna de las zanjas, ya sea por falta de agua o por mantenimiento.

Estas unidades son el corazón del tratamiento, ya que es donde se realiza la estabilización de la materia orgánica y por tanto donde se limpia el agua. El agua permanece en la zanja donde se le suministra aire para el proceso por medio de las aeradores AS/01/02/03/04, que corresponden a la ZO-01y los AS 05/06/07/08 que corresponden a la ZO-02. El control de encendido y apagado se encuentra en el sitio. El agua residual sale de las zanjas por medio del control de compuerta: C-05 para ZO-01, y la C-06 para ZO-02 (Diagrama 6.1)

Para mantener las unidades en buenas condiciones de operación durante cada turno se deben realizar diferentes actividades como son: limpieza de la zanja de oxidación, inspección de los aeradores y hacer un control del proceso, como se indica a continuación.

### Limpieza de las zanjas de oxidación

Debido a que las rejillas gruesas no pueden atrapar toda la basura fina que trae el agua residual, tal como plumas y otros materiales finos, se colocaron mallas en las compuertas de salida de la zanja y en la misma zanja de oxidación. En cada turno se deben hacer las siguientes operaciones de limpieza:

#### Procedimiento

El operador debe observar la superficie del agua de la zanja y retirar la basura con un cedazo (principalmente plumas) y depositarlas en el contenedor de salida.

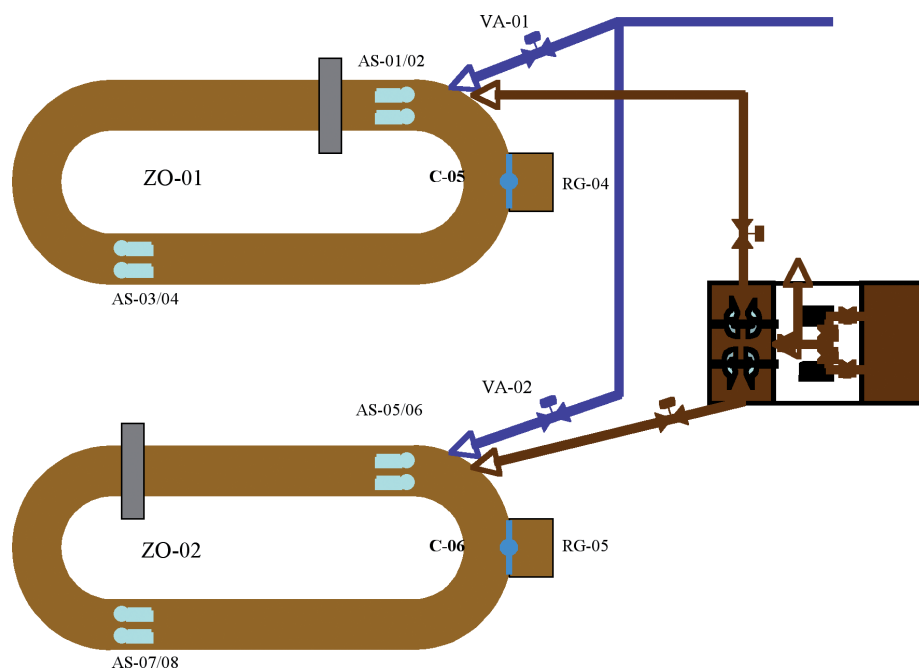


Diagrama 6.1 Zanjas de oxidación

Hacer limpieza de las mallas localizadas en las compuertas de salida de las zanjas (C-05 y C-06). Con un cepillo de plástico de mango largo retirar toda la basura atrapada en la malla y depositarla en el contenedor.

### **Inspección de los aeradores**

Procedimiento:

Inspeccionar los motores de accionamiento de los aeradores para verificar que no existan ruidos extraños o vibraciones.

Inspeccionar que las tuercas de ajuste de los cables de acero no se encuentren flojas y que los tensores estén en su posición.

Que exista succión de aire.

### **Control del proceso**

Una vez por turno medir el volumen de lodo sedimentado en un cono Imhoff de acuerdo al siguiente procedimiento:

Procedimiento



A la mitad de la zanja de oxidación en cualquiera de los dos extremos, con ayuda de un muestreador tomar una muestra del licor mezclado de la zanja de oxidación a una profundidad de aproximadamente 0.75 m.

Mezclar suavemente la muestra y llenar el cono Imhoff hasta la marca de 1 L.

Dejar en reposo 30 minutos y después de este lapso tomar la lectura del volumen de lodo sedimentado en el fondo.

Si este resultado es menor de 400 mL se debe enviar lodo de los sedimentadores hacia la zanja de oxidación. Esto es, aumentar la recirculación.

Si la lectura es mayor de 400 mL, es necesario purgar lodo hacia el digestor.

### 6.7.3 CONSIDERACIONES DE OPERACIÓN

El operador debe aplicar algún método para regular u operar bajo ciertas condiciones las unidades a su cargo, de tal manera, que se mantenga o mejore la eficiencia requerida por calidad del agua.

Por ejemplo

#### **Sistema de aeración:**

1. Control de la válvula de alivio o by pass; este método no ahorra energía y es para pequeñas instalaciones.
2. Control de válvula de entrada de aire; este método es para sopladores dinámicos; es el método más eficiente y económico para regular la capacidad del soplador. No debe usarse en sopladores de desplazamiento positivo porque si se cierra la válvula de entrada, el mecanismo se daña al trabajar en seco. Este simple método de control consiste en colocar una válvula mariposa a la entrada del soplador, reduciendo hasta un 45% la capacidad de operación normal.
3. Difusores ajustables en la descarga de compresores radiales con impulsores, pueden dar cierta capacidad de regulación sin reducir la presión de descarga. Este mecanismo también da un 45% de reducción de la capacidad nominal del soplador.
4. El uso de motores de velocidad variable es un método eficiente de regulación para sopladores de desplazamiento positivo. Un pequeño cambio de velocidad de rotación puede producir un cambio relativamente grande en la presión de descarga del soplador. Debido a que operan en un pequeño rango de presiones, el uso de motores de velocidad variable no es económico.

5. En plantas pequeñas de aguas residuales, un solo soplador en funciones y otro en espera son suficientes. En plantas grandes es común encontrar una serie de sopladores funcionando a la vez, con uno de reserva.
6. El control de sopladores en serie requiere un análisis de funcionamiento de acuerdo con las curvas características del sistema.

#### **6.7.4** *FORMATOS O BITÁCORAS DE REGISTRO DE OPERACIÓN*

Los formatos o bitácoras pueden ser de:

- Registro de entrada y salida de operadores
- Registros de caudal
- Registro de determinaciones de campo; pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, color, turbiedad, entre otros.
- Registro de parámetros de control; velocidad de sedimentación, sólidos suspendidos totales y volátiles, demanda química y bioquímica de oxígeno, nutrientes, grasas y aceites, índice volumétrico de lodos, tasa de respiración, entre otros.
- Paro, arranque y operación de equipos electromecánicos; bombas, sopladores, aeradores, etc.

Un ejemplo de formatos se muestra en el “Anexo A

Una planta debe mantenerse siempre limpia (Foto 7.1). Esto favorece al ánimo de los empleados y tiende a mejorar su actitud por el trabajo que realizan. Además, el aspecto que proyectan hacia los usuarios o personas que transitan cerca de ella, favorece su imagen ante la población.



Foto 7.1 PTAR limpia y en buenas condiciones

Un buen control del proceso de tratamiento no puede realizarse sin que se siga un programa de mantenimiento.

Cuando una planta ha operado por un largo período, las reparaciones del equipo se vuelven más frecuentes si no se ha seguido un programa de mantenimiento preventivo. Además, algunos equipos pueden volverse obsoletos, ya sea por el paso del tiempo o por la aparición de modelos más modernos. Se justifica el cambio de un equipo cuando éste se vuelve obsoleto o porque no es posible conseguir sus refacciones. Además, el equipo más reciente puede favorecer la eficiencia del tratamiento y reducir los costos de operación.

Es importante recordar que la continuidad del proceso no debe afectarse por la falla o falta de algún equipo.

Un programa de mantenimiento es una parte muy importante en la operación de una planta. Este debe ser diseñado de tal manera que asegure la operación satisfactoria de la planta bajo cualquier condición.

El programa debe contener mantenimiento preventivo y rutinario, así como correctivo o de emergencia. Todas las plantas deben tener escritas las instrucciones de cómo operar y mantener el equipo. Estas instrucciones son de mucha ayuda cuando el operador es nuevo en este tipo de obligaciones o tareas. Los elementos principales que constituyen un programa de mantenimiento son los siguientes:

- a) Calendarización de actividades
- b) Registro de bitácoras
- c) Partes de almacén
- d) Control de presupuesto y costos
- e) Procedimientos de reparación de emergencias

Para llevar el registro del mantenimiento diario, se recomienda la utilización de formatos muy sencillos, que incluyan el equipo que comprende cada etapa del proceso, indicándose el tipo de servicio (mecánico o eléctrico) que requiere.

Un documento que puede facilitar o apoyar el desarrollo de las actividades antes descritas, es el manual que el proveedor tiene la obligación de proporcionar cuando se adquiere un equipo. El manual, generalmente contiene las instrucciones de instalación, operación, mantenimiento y principales fallas, sus causas y solución, un ejemplo de estos se muestran en la Ilustración 1 e Ilustración 2.



Ilustración 1 Manuales de bombas

Si hubiera cualquier duda o problemas relacionados con la bomba, el departamento de Servicio de Equipo ABS usará la información proporcionada en el Informe de Puesta en Marcha del Equipo para investigar las averías de la instalación y ayudar al usuario.

Un completo Informe de Puesta en Marcha del Equipo permitirá a ABS evaluar la instalación entera y proporcionar la mejor asistencia al usuario.

El Informe de Puesta en Marcha del Equipo también se exige para apoyar los pedidos de garantía. Es importante que el Informe de Puesta en Marcha del Equipo se llene completamente por el personal autorizado y sea devuelto a ABS. Asegúrese de guardar una copia para sus archivos.

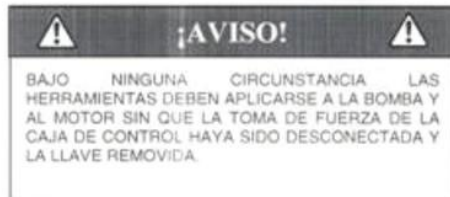
## 6.0 FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO

### 6.1 FUNCIONAMIENTO

Después de que las instalaciones eléctricas y mecánicas han sido hechas, y el Informe de Puesta en Marcha del Equipo completo, la bomba estará lista para funcionar. Ningún procedimiento operacional se requiere, excepto aplicar la potencia nominal a la bomba. No hay ningún procedimiento específico de parada sino desconectar la toma de fuerza.

### 6.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Se diseñan las bombas ABS con un número mínimo de verificaciones de mantenimiento preventivo. Estas verificaciones son pocas, pero agregarán servicio satisfactorio a la vida de la bomba. Deben realizarse las verificaciones de mantenimiento a intervalos determinados. Los ambientes severos de funcionamiento requerirán verificaciones más frecuentes.



#### 6.2.1 Inspección del cable

El cable debe inspeccionarse para determinar evidencia de abrasión, cortes o rozamiento siempre que las bombas sean retiradas del pozo húmedo. Se debe examinar cuidadosamente el área donde el cable entra en la cámara de la terminal. Si se encuentra algún daño el cable debe reemplazarse.

#### 6.2.2 Lavado completo

La acumulación de grasa y lodo en la bomba y en los interruptores de flotador deben lavarse a intervalos de tres meses para asegurar el funcionamiento apropiado. Esto puede lograrse usando una manguera

alta presión. Después de limpiar los interruptores los mismos deberán inspeccionarse y verificarse su funcionamiento apropiado.

#### 6.2.3 Ajuste de liberación del plato de fondo

Las bombas **SCAVENGER™** Serie E utilizan el sistema impulsor ContraBlock de ABS patentado con una placa de desgaste ajustable. Este sistema permite una mayor capacidad de manejo de sólidos y permite un ajuste fácil del juego del impulsor para una eficiencia máxima de bombeo.

#### Liberación del juego

La placa de desgaste en el fondo de la bomba ha sido puesta en la fábrica durante la fabricación de la bomba. Sin embargo, el ajetreo durante el embarque puede perturbar ese ajuste. Antes de poner la bomba en servicio, se recomienda verificar ese ajuste. Esto es especialmente necesario si la bomba hace ruido durante la puesta en marcha inicial. Un pequeño ruido durante el funcionamiento inicial es normal, pero ruido excesivo o traba del impulsor indica que ese ajuste es necesario.

Para ajustar la placa de desgaste deje la bomba acostada de lado. Vea que hay dos conjuntos de tornillos fijando la placa de desgaste; uno llevándola hacia el impulsor, y otro hacia afuera. En algunos modelos, los tornillos del primero conjunto tienen un orificio con rosca en el centro del los otros. Ajustando los tornillos un cuarto de vuelta por vez, la placa va hacia el impulsor o hacia afuera ajustando el debido juego del impulsor que es el correcto cuando el gira libremente, pero el espacio entre el fondo del impulsor y la placa es mínimo. Un pequeño contacto entre ambos se considera aceptable. Tenga cuidado de que la placa se ajuste uniformemente al impulsor.

### 6.3 LUBRICACIÓN

Los componentes internos de la bomba se lubrican durante la fabricación y no requieren lubricación adicional.

## 7.0 MANTENIMIENTO

### 7.1 REPARACIONES MAYORES

Las tareas de reparaciones mayores como sustitución de cojinetes, estator o eje del motor sólo deben realizarse por personal de la fábrica ABS o un técnico entrenado por el departamento de servicio ABS.

### 7.2 REEMPLAZO DEL CABLE

El cable de alimentación es fijado con epoxy en la tapa de la bomba en la fábrica para garantizar un cierre perfecto. Se recomienda que el Departamento de Servicio ABS sea contactado en caso de que haga falta montar un nuevo cable.

### 7.3 REPUESTOS

Para obtener diseños transversales y listas de repuestos, por favor visite nuestro website. Usted también puede llamar o enviar su facsimile a ABS para pedir esta información. Esté seguro de incluir el número de su bomba y modelo en su pedido.





## 7.1 CALENDARIZACIÓN DE ACTIVIDADES

Este es la columna vertebral del programa de mantenimiento.

Los esfuerzos de la realización de la calendarización se deben enfocar a tareas específicas a realizar en periodos de tiempo congruentes preestablecidos. La siguiente información es importante cuando se considera desarrollar un plan.

- Procedimientos de rutina
- Procedimientos especiales (reparación general)
- Necesidades del conocimiento de técnicas de mantenimiento y reparación
- Requerimientos de herramientas especiales y de equipo
- Disponibilidad de partes de repuesto

## 7.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PROCEDIMIENTOS DE RUTINA)

El mantenimiento de una planta no debe basarse solamente en las deficiencias que se detecten en la supervisión diaria del equipo. Debe contarse con un programa de mantenimiento preventivo, que indique fechas y actividades a realizar a fin de contrarrestar los problemas operativos, como se muestran en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Programa de mantenimiento de julio a diciembre

Equipo	Localización	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Observaciones y/o bitácora utilizada
		P	R	P	R	P	R	
Cárcamo de bombeo	Pretratamiento							Limpieza general y desazolve de lodo
Bomba sumergible (NABOHI) 2	Pretratamiento							Nueva. Garantía de un año, fecha de compra 26-12-01. Verificación diario
Agitador LIGHTNIN 1	Tanque de aeración 1							Cambio de aceite cada 12 meses y engrasado c/3 meses
Sensor de flujo de aire (Rotámetro)	Reactor biológico							Limpieza
Tanque de regulación	Módulo de lodos activados							Limpieza y desazolve de lodo
Bomba sumergible 1 (Caprari)	Caseta de sopladores							Verificación de platos e impulsor, aceite y limpieza general
Bomba centrífuga 1/4 HP	Alimentación de equipo de monitoreo en línea. (Sedimentación)							Limpieza general, lubricación, engrasado, verificación del impulsor y carcasa.

Equipo	Localización	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Observaciones y/o bitácora utilizada
		P	R	P	R	P	R	
Soplador 2 (Anlet root)	Caseta de sopladores							Limpieza de filtro y general, lubricación, engrasado, verificación de: bandas, torque y presión de aire.
Compresor 2-300 psi (ITSA)	Caseta de compresores							Limpieza general, verificación de aceite, bandas, pistones y carcasa.
Rastra del sedimentador	Sedimentador secundario							Limpieza, lubricación y engrasado
Hidroneumático	Sistema terciario							Limpieza y verificación presión
Bombas de recirculación de lodos	Reactor biológico							Mensualmente
Puertas de la planta y laboratorio	Planta y laboratorios							Revisión de instalaciones
Gases	Planta y laboratorios							Revisión de instalaciones
Extintores	Planta y laboratorios							
Revisión de lava ojos y regaderas	Laboratorios							
Verificación de registros								
Balance de cargas	Caseta de control							Cada vez que se instale un equipo

En las operaciones de rutina de una planta, el personal de mantenimiento debe inspeccionar que todos los equipos mecánicos y eléctricos operen correctamente y realizará las siguientes actividades de mantenimiento.

- Los motores deben estar libres de suciedad y de humedad
- Asegurarse que los equipos que se encuentran dentro de instalaciones cerradas tengan una buena ventilación
- Verificar que los motores y bombas no tengan goteras, ruidos inusuales, vibraciones o sobrecalentamiento
- Mantener lubricadas las partes que lo requieran y verificar los niveles de aceite en los equipos que lo necesitan
- Verificar la alineación de flechas y acoplamientos
- Verificar sobrecalentamiento de chumaceras y su lubricación
- Verificar la operación apropiada de válvulas y bombas
- Verificar la calibración de dosificadores

Se recomienda que este tipo de actividades se realice diariamente.

### 7.3 HERRAMIENTAS

Para que sea efectivo un mantenimiento de rutina es necesario conocer apropiadamente el uso de cada herramienta, ya que con esto se asegura que no se dañará el equipo, además de representar seguridad para el personal. Es importante recordar que si no se cuenta con la herramienta adecuada para desarrollar una tarea específica no se podrá realizar un buen programa de mantenimiento.

Es conveniente realizar un control de la herramienta disponible, debido a que de esta manera se podrá reemplazar más fácilmente aquella que se dañe o se reporte como perdida.

Para tal efecto, es apropiado llevar un registro de préstamo en pequeñas papeletas, en donde se registre la fecha de préstamo, nombre del usuario y el tipo de herramienta. Una vez devuelta ésta será cancelada. Además, debe existir una lista general que agrupe a las herramientas por tipo de uso, la cual se verificará cuando menos una vez por semana.

### 7.4 PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

Estos son muy importantes para poder desarrollar adecuadamente un programa de mantenimiento y se listan a continuación.

- a) Planes de paro de equipos para minimizar los impactos adversos a la operación de la planta.
- b) Empleo de registros de reparación de equipos y calendario de mantenimiento.
- c) Preparar procedimientos o referir a las instrucciones del manual de operación para realizar reparaciones o rehabilitaciones de los equipos o para otras tareas en las que se requiera realizar un mantenimiento especial.

### 7.5 REGISTRO DE INFORMACIÓN

A continuación se dan algunas recomendaciones que pueden ser útiles para obtener un buen sistema de registro.

- a) Cartas con información individual de cada equipo para conformar un inventario.
- b) Calendario de mantenimiento preventivo.
- c) Lista de partes de repuesto y actualización de las misma semanalmente.

d) Registro de la calidad del trabajo realizado.

Un buen manejo de los datos es una característica importante en la administración de un programa de mantenimiento, ya que proporciona un sistema base para la asignación de los trabajos diarios y genera a su vez un registro histórico de los trabajos realizados en los equipos, un ejemplo puede ser como el que se muestra a continuación:

Tarjeta de mantenimiento			
Equipo: Bomba sumergible		Marca: abs	
Modelo: Serie EF		Clave: BA-01	
Ubicación: Cárcamo de bombeo (CB-01)		Bombea: Agua residual	
MANTENIMIENTO			
Cada 3 meses			
Inspección visual de cables eléctricos Lavado completo Ajuste de liberación de plato de fondo Lubricación: Los componentes internos de las bombas se lubrican durante la fabricación y no requieren lubricación adicional.			
Reparación general de la bomba cada 5 años			
ADVERTENCIA: Desconectar todas las fuentes de alimentación de la unidad y descargar todas las piezas que puedan retener carga eléctrica antes de proceder a realizar tareas de mantenimiento o reparaciones. Las pantallas de protección y cubiertas deben permanecer colocadas en el lugar correcto cuando la unidad se encuentra en funcionamiento. El no observar esta advertencia podría ocasionar lesiones.			
Fecha	Trabajo realizado y por quien	Fecha	Trabajo realizado y por quien

## 7.6 MANEJO DE PARTES DE REPUESTO

Ciertas partes de equipos mecánicos son iguales, por ejemplo los soportes de las flechas o chumaceras, las cuales tienen un periodo de vida corto en relación a la vida útil del equipo. Por lo anterior, se requiere contar con un número considerado de estas piezas en el almacén.

Las partes de repuesto deben ser almacenadas en base a:

- La importancia de las partes en la operación de la planta
- Disponibilidad
- El efecto en la operación si la parte es defectuosa
- El espacio que ocupe en el almacén

Si las refacciones son rápidamente suministradas por el proveedor, es conveniente no contar con ellas en el almacén, ya que sería un costo innecesario. Un registro histórico de las partes en el almacén indicará cuales son las más requeridas y la cantidad en un periodo de tiempo dado. Además, las partes deberán ser repuestas en un tiempo corto.

## 7.7 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

A continuación se presentan algunas actividades relevantes y que pueden ser incluidas en un plan de mantenimiento preventivo.

### 7.7.1 REJILLAS

- a) Verificar corrosión en las rejillas.
- b) Programar para lijado y pintura.
- c) Limpiar el canal antes y después de las rejillas.

### 7.7.2 SEDIMENTADOR PRIMARIO

- a) Remover los sólidos acumulados en la entrada y salida del agua, en mamparas, vertedores y caja de recolección de natas
- b) Inspeccionar el equipo mecánico.
- c) Verificar el retiro de natas y su correcta eliminación.
- d) Verificar, de ser posible, diariamente los motores eléctricos para evitar sobrecargas y calentamientos, provocados por atascamiento.
- e) Vaciar la unidad por lo menos una vez al año para verificar su estructura y partes mecánicas. Tomando en cuenta mamparas, vertedores, partes mecánicas y paredes.
- f) Detectar áreas con corrosión, limpiar y pintar. De ser necesario cambiar partes que no puedan ser reparadas.

### 7.7.3 REACTOR BIOLÓGICO

- a) Limpiar diariamente entradas y salidas de agua y retirar la materia flotante.
- b) Una vez por año vaciar la unidad y verificar la estructura de concreto.
- c) Cada seis meses verificar los equipos de aeración si estos son superficiales o sumergibles y si es por difusión de aire (membranas), al menos una vez cada 3 años verificar los difusores y cada seis meses los sopladores.

### 7.7.4 SEDIMENTADOR SECUNDARIO

- a) Remover los sólidos acumulados en la entrada y salida del agua, en mamparas, vertedores y caja de recolección de natas. Así, como cepillar las canaletas de recolección de agua.



- b) Inspeccionar el equipo mecánico.
- c) Verificar operación del desnatador.
- d) Verificar, de ser posible, diariamente los motores eléctricos para evitar sobrecargas y calentamientos, provocados por atascamiento.
- e) Vaciar la unidad por lo menos una vez al año para verificar su estructura y partes mecánicas. Tomando en cuenta mamparas, vertedores, partes mecánicas y paredes.
- f) Detectar áreas con corrosión, limpiar y pintar. De ser necesario cambiar partes que no puedan ser reparadas.

#### **7.7.5 CLORACIÓN**

- a) Inspeccionar una vez a la semana el estado de sistema de cloración.
- b) Inspeccionar una vez a la semana el estado de los difusores.
- c) Vaciar la unidad por lo menos una vez al año para verificar su estructura y remover acumulaciones de lodo en las esquinas.

#### **7.7.6 ESPESADOR DE LODOS**

- a) Limpiar las paredes verticales, vertedores y canales diariamente.
- b) En equipo eléctrico verificar operación, temperatura y ruidos extraños.
- c) Vaciar la unidad por lo menos una vez al año para verificar su estructura y partes mecánicas. Tomando en cuenta mamparas, vertedores, partes mecánicas y paredes.
- d) Detectar áreas con corrosión, limpiar y pintar. De ser necesario cambiar partes que no puedan ser reparadas.

#### **7.7.7 BOMBAS**

Las siguientes actividades se realizarán por lo menos cada seis meses:

- a) Revisión de impulsor.
- b) Revisión de empaques o sellos.
- c) Lubricación.
- d) Revisar y cambio de aceite dieléctrico si es necesario.
- e) Revisar el embobinado.







Los lodos residuales son el subproducto del tratamiento de las aguas residuales. Tradicionalmente estos lodos, muchas veces sin tratamiento, se descargan al drenaje municipal, a las corrientes superficiales, ó se almacenan a cielo abierto provocando contaminación por sus altos contenidos de materia orgánica, patógenos, metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos.

En Latinoamérica se requiere de tecnología para la disposición y aprovechamiento de los lodos, en cuyo desarrollo y adaptación se consideren los siguientes aspectos: bajos costos de inversión, operación y mantenimiento; reducción del impacto al ambiente; eficiente en la reducción de contaminantes, y que se aproveche la materia orgánica y los nutrientes que contienen estos desechos.

El aprovechamiento del lodo soluciona un problema de contaminación y convierte un desecho peligroso en un recurso económico. Sin embargo, para lograr el reúso del lodo y su introducción al mercado, se necesitan criterios y normas que controlen los riesgos potenciales al medio ambiente. El Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales establece en su título décimo: Infracciones, Sanciones y Recursos, en el artículo 119 que los lodos residuales deberán manejarse de una manera ambientalmente aceptable. La NOM-004-SEMARNAT-2002, determina la calidad de los lodos residuales para utilizarse como biosólidos y la NOM-052-SEMARNAT-2005, define si son residuos peligrosos.

Existen varias opciones tecnológicas que pueden desarrollarse y posteriormente adaptarse a las condiciones de cada país. Es importante señalar que se debe establecer una filosofía en cuanto al tratamiento integral del agua residual - lodo, y el reúso de ambos.

## 8.1 TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS RESIDUALES

Los tipos y las características del lodo residual dependen tanto de la composición inicial del agua residual, como de los sistemas usados para su tratamiento. Diferentes procesos de tratamiento generan diferentes tipos y volúmenes de lodo. En una planta en particular, las características de los lodos producidos pueden variar anualmente, estacionalmente o

diariamente debido a los cambios tanto de la composición del agua residual como de los procesos de tratamiento. Esta variación es mayor en los sistemas de tratamiento de aguas residuales que reciben descargas industriales.

Las características del lodo influyen en las opciones de su uso y disposición. Así, cuando se evalúan las alternativas de uso o disposición, se debe determinar inicialmente la cantidad y características del lodo y el rango en que varía cada parámetro de interés.

Dependiendo del lugar donde se generan los lodos dentro de la planta de tratamiento se pueden clasificar en: primarios, secundarios y terciarios, ver, Tabla 8.1

Tabla 8.1 Tipos de lodo residual

Tipo de lodo	Origen	% Sólidos	Características
Lodo primario	Sedimentación primaria	3-7	Alto contenido de materia orgánica
Lodo secundario	Tratamiento biológico (Procesos anaerobios, lodos activados, biofiltros y biodiscos)	0.5 - 2	Constituido principalmente por biomasa. Es difícil de deshidratar
Lodo terciario o de tratamiento químico	Coagulación-floculación, filtración, precipitación química, etc	Variable, hasta 50%	Variables, dependen del proceso de tratamiento aplicado

### 8.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas del lodo se deben conocer para su tratamiento posterior especialmente para definir su capacidad de deshidratación y filtración, algunas de estas características se muestran en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2 Características físicas del lodo

Parámetro	Definición	Determinación
Gravedad Específica	Relación de peso del material con respecto a un volumen igual de agua	$\frac{1}{S_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{W_i}{S_i} \right)}{1}$ <p> <math>S_s</math> = Gravedad específica del lodo  <math>W_i</math> = Fracción de peso del iésimo componente del lodo.  <math>S_i</math> = Gravedad específica del iésimo componente del lodo. </p>

Tabla 8.2 Características físicas del lodo (continuación)

Parámetro	Definición	Determinación
Sólidos totales (ST)	Contenido total de sólidos en un lodo	Secado de muestra a 103-105° C Norma Mexicana NMX-AA-034
Sólidos Totales Volátiles (STV)	Representan la materia orgánica y los compuestos que puedan evaporarse a una temperatura de 550°C	Evaporación a 550°C de la muestra que se seca previamente a 103°C para determinar ST Norma Mexicana NMX-AA-034
Sólidos Totales Fijos (STF)	Representa el material remanente o cenizas después de determinar los STV	Se determina por diferencia de peso $STF = ST - STV$ Norma Mexicana NMX-AA-034
Sólidos suspendidos (SST)	Materia en suspensión que existe en el líquido y que se retiene en un filtro de fibra de vidrio 1.58 $\mu\text{m}$ . Estos sólidos también se clasifican en SSV y SSF, cuando los SST se queman a 550°C	Secado de la muestra remanente en el filtro a 103 - 105 ° C Norma Mexicana NMX-AA-034
Sólidos Sedimentables (SSed)	Sólidos que sedimentan fácilmente por gravedad y se expresan en mL/L	Se determina en un cono Imhoff durante 30 minutos Norma Mexicana NMX-AA-004
Resistencia específica	Es la capacidad de filtración de los lodos a una presión determinada y se expresa en m/kg o en $\text{seg}^2/\text{g}$ .	Se determina al filtrar un muestra de lodo a una presión determinada
Capacidad calorífica	Capacidad de combustión de un lodo	Se determina por combustión de la muestra

### 8.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Los constituyentes químicos presentes en un lodo residual pueden dividirse según el tipo de parámetro analizado en inorgánicos y orgánicos. Estas características influyen en la disposición final o en el uso del lodo. Si el lodo es rico en materia orgánica, nutrientes y cationes intercambiables, podrá utilizarse como un acondicionador de suelos. Por el contrario, si el lodo presenta altas concentraciones de metales pesados o compuestos orgánicos tóxicos, no podrá usarse y deberá dársele un tratamiento y disposición final apropiado. Las principales características químicas del lodo se muestran en la Tabla 8.3



Tabla 8.3 Características químicas del lodo

Parámetros	Constituyentes	Ejemplo
Inorgánicos	Arena, arcilla, materia mineral en suspensión, etc	
	Metales pesados	Zn, Cu, Co, Ni, Cd, etc
	Nutrientes	Nitrógeno, Fósforo, Potasio
	Aniones	Cloruros, sulfatos, nitratos, cianuros, sulfuros, etc
	Cationes	Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, etc.
Orgánicos	Materia orgánica compuesta por fibras de origen vegetal, grasas y aceites, almidones, ligninas, etc.	Medida por medio de los siguientes parámetros: DBO(Demanda bioquímica de oxígeno),DQO (Demanda química de oxígeno),COT(carbón orgánico total).
	Tóxicos orgánicos.	Compuestos orgánicos volátiles Compuestos orgánicos semi-volátiles Pesticidas Difenilos policlorados Compuestos orgánicos emergentes

### 8.1.3 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

Las aguas residuales contienen una flora y fauna variada que posteriormente pasan a formar parte de los lodos. El tratamiento biológico de las aguas residuales modifica su composición biológica por la multiplicación de ciertas especies en detrimento de otras.

El tratamiento de las aguas residuales municipales genera lodos con altas concentraciones de microorganismos patógenos los cuales deben eliminarse antes de su disposición final o de su uso en suelo. Los principales microorganismos que se encuentran en los lodos se muestran en la Tabla 8.4.

Tabla 8.4 Principales microorganismos presentes en el lodo

Microorganismos	Tipo
Bacterias	Aerobias, facultativas y anaerobias
Hongos	Levaduras y hongos saprófitos
Algas	Presencia de gran cantidad de especies principalmente procedentes de sistemas de tratamiento lagunares
Macrofauna	Gusanos, larvas de insectos y crustáceos

Tabla 8.4 Principales microorganismos presentes en el lodo (continuación)

Microorganismos	Tipo
Microorganismos patógenos	
Microorganismos indicadores	Coliformes fecales y totales
Bacterias patógenas	<i>Salmonella</i> y <i>Pseudomona aeruginosa</i>
Protozoarios y parásitos	Huevos de Helminto Giardia Entamoeba Histolytica

De acuerdo a las características que se describieron anteriormente se observa que el lodo tiene características benéficas y también contaminantes que en elevadas concentraciones pueden causar efectos a la salud, a los cultivos agrícolas y al suelo. La Tabla 8.5 presenta las características contaminantes de un lodo residual sin tratamiento.

Tabla 8.5 Características contaminantes de los lodos residuales

Características	Concentración
Poca estabilidad	Reducción de STV menor de 38%, producción de olores y atracción vectores.
Alta salinidad	Conductividad eléctrica mayor a 3 mS/cm
Biológico infeccioso	Alta concentración de microorganismos patógenos.
Toxicidad	Por presencia de compuestos tóxicos orgánicos (plaguicidas, bifenilos policlorados, etc) o inorgánicos (metales pesados). Concentraciones superiores a las normas.

## 8.2 TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES

Los procedimientos para tratar los lodos varían según la fuente y el tipo de aguas residuales que lo generan, del proceso utilizado para tratar las aguas residuales y del método de disposición a la que se destinan los lodos.

Para algunos lodos, generalmente de origen industrial, la selección de un tratamiento óptimo y de una tecnología de disposición adecuada puede ser difícil, sin embargo pueden emplearse varias estrategias para escoger la mejor solución al sistema. Las evaluaciones experimentales, la legislación y las comparaciones económicas son necesarias para hacer esta selección.

Los procesos físicos se utilizan para la reducción del volumen y peso del lodo, por medio de la remoción del agua libre o ligada. En los procesos químicos, se adicionan reactivos al lodo y por medio de reacciones se realizan modificaciones en las propiedades del lodo.

Los procesos biológicos se utilizan para oxidar bioquímicamente la materia orgánica contenida en el lodo, mientras que en los procesos térmicos se aplica energía para desaguar, destruir o reducir la toxicidad de los lodos.

La Tabla 8.6 es una matriz de selección de tecnología que puede orientar en forma preliminar para escoger una tecnología apropiada.

Tabla 8.6 Alternativas tecnológicas utilizadas en el tratamiento y disposición de lodos

Procesos físicos		Procesos químicos	Procesos biológicos	Proceso térmico	Disposición
Espesamiento	Deshidratación				
Espesamiento por gravedad	Filtro al vacío	Acondicionamiento	Digestión aerobia	Incineración	
Espesamiento por flotación	Filtro de bandas	Neutralización	Digestión anaerobia	Vitrificación	Relleno
Centrifugación	Filtro prensa	Extracción	Composteo	Oxidación con aire húmedo	Reciclo
Espesamiento filtros de bandas	Centrifugación	Oxidación Reducción	Tratamiento en tierra	Desorción	Aplicación en tierra
	Lechos de secado	Estabilización solidificación		Cristalización	
	Evaporación secado	Decloración			
	Prensa de tornillo				

FUENTE: Lankford y Eckenfelder, Jr. 1990.

### 8.2.1 *ESPESAMIENTO Y DESHIDRATACIÓN DE LODOS*

El espesamiento y la deshidratación de lodos son procedimientos que se emplean para aumentar el contenido de sólidos en los lodos al eliminar parte de la fracción líquida del mismo. La concentración o espesamiento suele llevarse a cabo mediante procesos físicos, que incluyen el espesado por gravedad, flotación, centrifugación y la filtración por gravedad. Para la deshidratación los equipos utilizan presión o vacío y permiten incrementar la concentración de sólidos en el lodo.

La reducción del volumen del lodo resulta benéfica para los procesos de tratamiento posteriores tales como la digestión, la deshidratación, el secado y la combustión, desde los siguientes puntos de vista:

- Disminuye la capacidad de los tanques y de los equipos.
- Reduce la cantidad de reactivos químicos para el acondicionamiento del lodo.
- Disminuye la cantidad de calor necesario para los digestores y el combustible auxiliar para el secado o la incineración o para ambos.

En la Tabla 8.7 se presenta la reducción del volumen de lodo que es posible alcanzar mediante la aplicación de diferentes tratamientos físicos para la remoción del agua.

Tabla 8.7 Reducción del volumen de lodo mediante tratamientos físicos

Reducción del volumen del lodo, %	Proceso	Fuerzas físicas aplicadas	Contenido de agua en el lodo espesado, %
Hasta 5% al 10% del volumen inicial	Espesamiento	Gravedad, flotación	85- 95
Del 35 al 15% del volumen inicial	Deshidratación	Sobrepresión o vacío, fuerza centrífuga	60-85
Del 50 al 80% del volumen inicial	Secado	Para lodo tratado biológicamente: evaporación natural, calentamiento ligero. Para lodo no tratado: calentamiento intenso o congelamiento	40-60 0-60

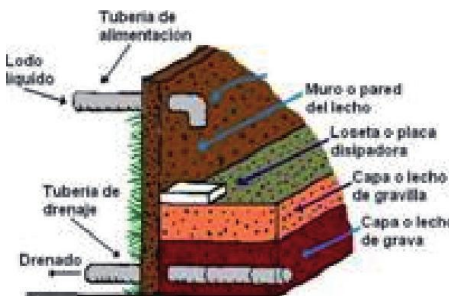
Las operaciones más comunes para el espesamiento y estabilización de lodos se describen en la Tabla 8.8.

Tabla 8.8 Operaciones utilizadas para el espesamiento y la deshidratación de lodos

Operación	Descripción	Figura
Espesamiento por gravedad	Se realiza en un tanque circular similar a uno de sedimentación. El tanque tiene un mecanismo rotatorio de baja velocidad con rastras mecánicas que al hacer contacto con las partículas del lodo incrementa la sedimentación y compactación. Se obtiene una solución concentrada de lodo en el fondo del tanque y un sobrenadante que se regresa a la entrada de la planta de tratamiento generalmente al sedimentador primario.	 <p>Figura 8.1 Espesador por gravedad</p>
Espesamiento por flotación con aire disuelto	La flotación con aire disuelto es comúnmente utilizada en el espesamiento de lodos activados. En este proceso una porción del efluente se presuriza y se le inyecta aire hasta una concentración de 70 a 80% de saturación. El líquido presurizado se mezcla con la corriente de lodo (influyente) y se libera a la atmósfera en el tanque de flotación. Las partículas de aire permiten la floculación del lodo elevándolo a la superficie, donde se separa.	 <p>Figura 8.2 Espesador por flotación con aire disuelto</p>
Espesamiento y deshidratación por medio de centrifugas	El lodo se introduce en un recipiente rotatorio. La fuerza centrífuga empuja la materia sólida hacia las paredes del recipiente. Es un proceso muy eficiente y puede conseguir concentración de sólidos totales mayores del 30% dependiendo de las características de lodo. Para una mayor remoción de agua se debe realizar el acondicionamiento químico del lodo. Se utilizan diferentes tipos de centrifugas, siendo las más utilizadas las centrifugas de tornillo de operación continua y la centrifuga de canasta.	 <p>Figura 8.3 Centrifuga de tornillo</p>



Operación	Descripción	Figura
Deshidratación por medio de filtros prensa	<p>Los filtros prensa son separadores de líquidos y sólidos a través de filtración por presión. Comprime y deshidrata sólidos hasta obtener arriba del 25% en peso de los lodos compactados. Las placas filtrantes desmontables están hechas de polipropileno, y las mallas pueden ser selladas, no selladas o membranas de alta resistencia. Cuenta con un sistema hidráulico-neumático que puede ser automático, semiautomático. La presión de operación varía entre 60 y 80 psi. El espesor del lodo entre 2.5 y 4 cm.</p>	 <p data-bbox="1029 594 1294 625">Figura 8.4. Filtro prensa</p>
Espesamiento o deshidratación por medio de filtros de banda	<p>La deshidratación por medio de filtros de banda es la operación que más se utiliza en las plantas de tratamiento. La operación se efectúa en tres etapas. Acondicionamiento químico del lodo, espesamiento por gravedad o baja presión y compactación del lodo previamente desaguado.</p> <p>Existen varios diseños y tipos de filtros de bandas. El filtro más conocido es la prensa de banda con tamiz. En este equipo se extiende una capa delgada de lodo sobre la banda giratoria de un tamiz. Después de la deshidratación preliminar por gravedad, se prensa el lodo a través de la banda de la prensa, ubicada encima de la banda filtrante, para ser retirado al llegar al final de la misma. Al extremo de los bandas, se pueden instalar rodillos móviles de soporte y prensado para que estas varíen de dirección, aumentando la presión sobre el lodo con ayuda de otras fuerzas de cizalla. La eficiencia de la filtración puede aumentarse por medio de la vibración de la banda. La banda se limpia con agua por medio de las boquillas de lavado.</p>	 <p data-bbox="980 1329 1343 1360">Figura 8.5 Espesador de bandas</p>  <p data-bbox="967 1688 1356 1719">Figura 8.6 Filtro prensa de bandas</p>

Operación	Descripción	Figura
Lechos de secado	<p>La deshidratación natural se usa para reducir el contenido del agua de los lodos. Una vez seco el lodo se retira y se deposita en sitios controlados o se utiliza como acondicionador de suelos.</p> <p>En un lecho de secado convencional de arena, el lodo se deshidrata al drenar a través de la masa de lodo y arena, y por evaporación desde la superficie expuesta al aire.</p> <p>El lecho de arena está constituido por dos capas: Una capa de grava de 30 cm y una capa de arena de 10 a 30 cm. El espesor de la capa de lodo no debe ser mayor a 30 cm.</p> <p>El lecho debe tener un sistema de drenaje a través de toda el área de secado y el agua drenada debe regresarse al sistema de tratamiento.</p> <p>Los lechos pueden ser techados o abiertos, depende del clima y de las condiciones meteorológicas de la región donde se construyan, esto último va influir en el tiempo de retención de los lechos.</p>	 <p>Figura 8.7 Esquema de un lecho de secado. EPA,1979</p>

Otros métodos que se utilizan son las lagunas de lodos, los tamices y el secado solar.

### 8.2.2 ESTABILIZACIÓN

Los lodos tienen que ser estabilizados para reducir o eliminar el potencial de putrefacción, evitar la generación de malos olores y en algunos casos reducir el contenido de microorganismos patógenos.

Existen diferentes métodos para estabilizar los lodos, siendo más común la digestión, como se muestra en la Tabla 8.9. En estos procesos además de la eliminación del olor desagradable, hay una destrucción parcial de los sólidos volátiles, una mejoría en las características de flujo y un aumento en la concentración de nitrógeno soluble. La mayoría de los métodos reducen en una cierta proporción los microorganismos patógenos.

La estabilidad del lodo es un parámetro que es difícil de medir por la misma complejidad del material, de tal suerte, que no existe un método estándar para medirlo. La reducción

de SSV es un método que se aplica para medir la estabilidad del lodo después de un proceso de digestión y es el recomendado por la NOM 004-SEMANART-2002.

Un lodo estable es aquel que puede ser descargado o dispuesto en la naturaleza sin causar daño al ambiente, y que no produce condiciones dañinas o indeseables. De acuerdo con esto, se han propuesto los siguientes parámetros para definir la estabilidad de un lodo (Vesilind, 1988).

- a) Producción de olor
- b) Toxicidad
- c) Reducción de sólidos suspendidos volátiles
- d) Reducción de patógenos

Tabla 8.9 Posibles métodos para la estabilización de los lodos residuales

Tipo de estabilización	Proceso	Método
Biológica	Digestión anaerobia	Sin calentamiento (laguna o tanque)
		Digestión anaerobia mesofílica (25 a 35°C) de una etapa de dos etapas de tres fases
		Digestión anaerobia termofílica (45 a 55°C)
	Digestión Aeróbica oxidativa	Sin calentamiento
		Autotérmica (45-70°C) Con aire Con oxígeno
	Proceso dual	Digestión autotérmica oxidativa, seguida por digestión anaerobia
Química	Composteo con o sin agentes aglutinantes o material reciclado	Pila estática aerada Reactor Camellón
	Adición de hidróxido de calcio (pH>12) Adición de agentes oxidantes modificadores del olor o bactericidas	Hidróxido de calcio hidratado al lodo líquido adición de óxido de calcio a lodos líquidos o sólidos cloración, peróxidos, otros agentes oxidantes, bactericidas orgánicos

La decisión para adoptar un método en particular para el tratamiento de los lodos, depende de muchos factores entre los cuales deben considerarse el tipo y características de los lodos, los costos iniciales de construcción y los costos de operación entre otros.

#### 8.2.2.1 DIGESTIÓN ANAEROBIA

Es la solubilización y fermentación de sustancias orgánicas complejas por microorganismos en la ausencia de oxígeno. Los productos de la digestión anaerobia son: gases, células y lodos con una fracción mineral cercana al 60%. Durante las reacciones se libera energía y la materia orgánica se convierte en metano, dióxido de carbono y agua.

La digestión anaerobia ocurre en dos fases o etapas:

- a) Acidogénesis: bacterias que degradan la materia orgánica a ácidos volátiles.
- b) Metanogénesis: bacterias que convierten los ácidos a metano y dióxido de carbono.

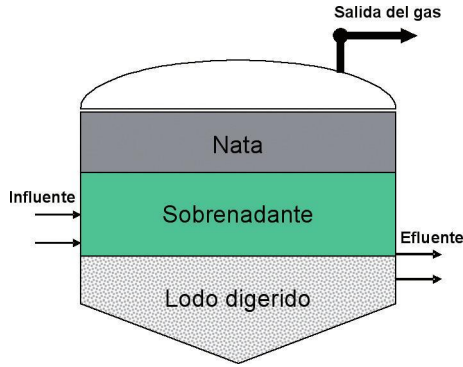
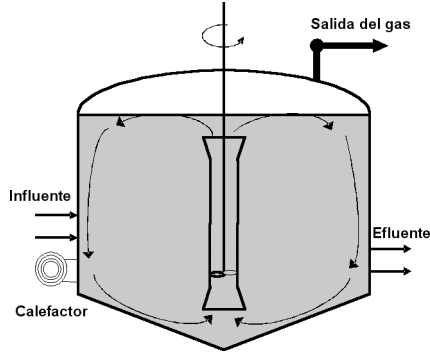
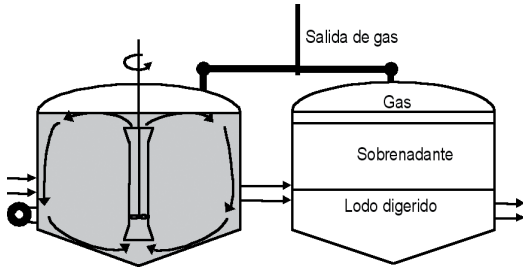
#### **Clasificación de los digestores anaerobios**

Los digestores anaerobios son de dos tipos:

- a) De baja tasa
- b) De alta tasa

El digestor consiste en un tanque cilíndrico con una pendiente hacia el fondo y bóveda techada. En la Tabla 8.10 se resumen las características de los principales digestores anaerobios.

Tabla 8.10 Características de los digestores anaerobios

Tipo de digestor	Figura
<p><b>Digestor de baja tasa</b></p> <p>El lodo se introduce al tanque, no hay sistema de mezclado, la estabilización se logra en condiciones estratificadas dentro del digestor. El gas metano se acumula en la bóveda, se extrae y se almacena para su uso. Las natas se acumulan en el sobrenadante que se envían al sedimentador primario. El lodo estabilizado sedimenta en el fondo del tanque y es conducido a la siguiente fase de tratamiento. Estos reactores operan en forma intermitente con un tiempo de retención hidráulico de 30-60 días y una carga de lodos 0.4 – 1.6 kg SSV/m<sup>3</sup>/d.</p>	 <p>Figura 8.8 Digestor de baja tasa. EPA,1979</p>
<p><b>Digestor de alta tasa</b></p> <p>Opera en rangos de temperaturas mesofílicas (30-38°C) y termofílicas (50-60°C), requieren de un sistema para el calentamiento del lodo, y deben aislarse del medio.</p> <p>Requieren de mezclado para mantener una distribución uniforme del lodo, la alimentación debe ser continua o por lotes en intervalos de 30 a 120 minutos. El tiempo de retención varía entre 10 y 15 días y la carga de lodos de 1.6 – 8.0 kg/SSV/m<sup>3</sup>/d.</p>	 <p>Figura 8.9 Digestor de alta tasa. EPA,1979</p>
<p><b>Digestión anaerobia en dos etapas</b></p> <p>Es una extensión de la tecnología de digestión de alta tasa, divide las funciones de fermentación y separación de sólido-líquido en dos tanques en serie, Figura 8.10.</p> <p>El primer tanque es un sistema de estabilización de alta tasa. Está equipado con unidades de calentamiento y agitación.</p> <p>El segundo es para la fase de separación. Esta segunda unidad puede ser también un tanque abierto o una laguna de lodos.</p>	 <p>Figura 8.10 Digestión anaerobia en dos etapas. EPA,1979</p>



## Criterio de estabilización

Un digestor típico de alta tasa reducirá el contenido de sólidos volátiles del lodo entre 40 y 65 %.

## Calidad de gas

La producción de gas es directamente proporcional a la cantidad de sólidos volátiles eliminados. Se expresa como volumen de gas por unidad de masa de sólidos volátiles eliminados ( $\text{m}^3/\text{kg}$  SV eliminado). La Tabla 8.11, presenta la composición del gas generado en los digestores anaerobios y en la Tabla 8.12, las ventajas y desventajas de la digestión anaerobia.

Tabla 8.11 Composición del biogás generado en los digestores anaerobios

Gas	% En volumen
Metano ( $\text{CH}_4$ )	55-75
Bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )	25-45
Nitrógeno ( $\text{N}_2$ )	2-6
Hidrógeno ( $\text{H}_2$ )	0.1-2
Ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ )	1-1.5

FUENTE: EPA,1979

Tabla 8.12 Ventajas y desventajas de la digestión anaerobia

Ventajas	Desventajas
Produce metano, utilizable como fuente de energía.	Altos costos de capital.
Disminuye la masa total de lodo entre 25 y 45%.	Susceptible a perturbaciones. Cambios bruscos en el ambiente.
Produce un residuo adecuado para usarse como acondicionador de suelo.	Produce un sobrenadante de mala calidad.
Inactiva microorganismos patógenos si la digestión se realiza a temperatura termofílica, 50-60°C.	Las bacterias productoras de metano crecen a baja velocidad.

FUENTE: EPA,1979

#### 8.2.2.2 DIGESTIÓN AEROBIA

Se basa en la respiración endógena, ocurre cuando hay poco sustrato disponible y continúa la aeración de los lodos biológicos. Los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma para obtener energía para reacciones de mantenimiento de las células.

- a) El tejido de la célula se oxida a dióxido de carbono, agua y nitratos.
- b) Entre el 75 y 80 % del total de las células es oxidada.
- c) El 20 al 25 % restante no son biodegradables.

#### Variantes del proceso de digestión

- a) Digestión aerobia convencional
- b) Digestión aerobia termofílica autotérmica

#### Digestión aerobia convencional

Utiliza tanques abiertos a la atmósfera en los cuales se aplica aire a los lodos espesados, la forma de aplicación del aire es por medios mecánicos (propelas o turbinas) o mediante difusores, Figura 8.11.



Figura 8.11. Digestor aerobio de lodos

#### Variaciones del proceso

##### - Operación intermitente (por lotes)

Originalmente, la digestión aerobia fue diseñada como un proceso por lotes Figura 8.12 y este concepto aún se aplica en muchas instalaciones. Los lodos se bombean directamente de los clarificadores al digestor aerobio. El tiempo requerido para el llenado del digestor depende del volumen del tanque disponible, volumen de lodo, precipitación y evaporación.

Durante la operación de llenado, el lodo bajo digestión es aerado en forma continua. Cuando se llena el tanque, la aeración continúa durante dos a tres semanas para asegurar que los sólidos están totalmente estabilizados. Posteriormente, se suspende la aeración y los sólidos estabilizados sedimentan. El líquido clarificado se decanta, y los sólidos espesados se remueven con una concentración entre 2 y 4%. Cuando se ha removido una cantidad suficiente de lodo estabilizado y/o sobrenadante, se repite el ciclo. Entre ciclos, es normal dejar parte del lodo estabilizado en el tanque de aeración para proporcionar la población microbiana necesaria para la degradación de los sólidos.

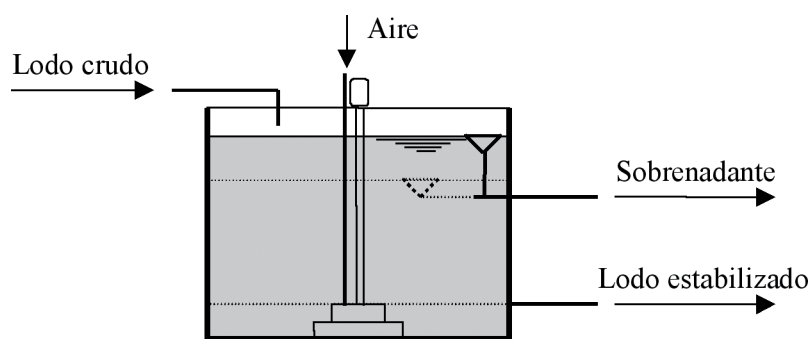


Figura 8.12 Reactor de digestión aerobia operado por lote

### - Operación continua

El proceso de digestión aerobia continua se asemeja mucho al proceso de lodos activados Figura 8.13. Así como en el proceso por lotes, los sólidos se bombean directamente desde los clarificadores al digestor aerobio. El tanque digestor opera a un nivel fijo, y el efluente se lleva a un separador de sólido-líquido (espesador). Parte del lodo estabilizado y espesado se recircula al tanque de digestión y el resto se remueve para continuar con su tratamiento.

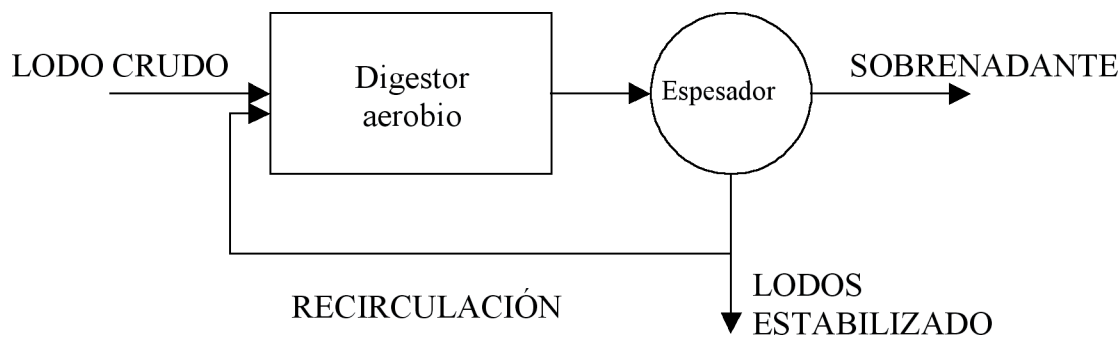


Figura 8.13 Diagrama de flujo para el proceso de digestión aerobia convencional de operación continua. EPA,1979

### - Digestión aerobia termofílica autotérmica

En este proceso, el lodo de los clarificadores normalmente se espesa para proporcionar al digestor una concentración inicial de sólidos mayor al 4%. El calor liberado por la biodegradación de los sólidos orgánicos es suficiente para elevar la temperatura del líquido en el digestor hasta 60°C.

Las ventajas de esta forma de operación son: una mayor tasa de destrucción de sólidos orgánicos, por consiguiente requerimientos menores de volumen; producción de un lodo pasteurizado; un requerimiento de oxígeno entre 30 y 40% menor que el del proceso mesofílico debido a que pocas bacterias nitrificantes existen a este nivel de temperatura; y se logra una mejor separación sólidos-líquido debido a la disminución de la viscosidad del líquido.

Las desventajas de este proceso consisten en que se tiene que incorporar la operación de espesamiento, ya que los requerimientos de mezclado son mayores debido al mayor contenido de sólidos, requiere aeración eficiente y tanques completamente sellados y con aislamiento térmico.

Tabla 8.13 Ventajas y desventajas de la digestión aerobia

Ventajas	Desventajas
Costo de inversión menores que para la digestión anaerobia para plantas menores de 220 L/s	Difícil de deshidratar por medio mecánicos
Más fáciles de operar que los digestores anaerobios	Altos costos de energía para suministrar el oxígeno, aún en plantas pequeñas
No genera malos olores	La eficiencia depende de la temperatura, localización y tipo de material del tanque
Produce un sobrenadante con bajas concentraciones de DBO, sólidos suspendidos y $\text{NH}_3$	

FUENTE: EPA,1979

#### 8.2.2.3 DIGESTIÓN ALCALINA

El tratamiento de los lodos de aguas residuales con productos químicos, como el cloro y la cal, son efectivos para la estabilización. La cal se utiliza para la reducción de olor, para incrementar el pH en los digestores y para la remoción de fósforo en el tratamiento avanzado de las aguas residuales.

### ***Bases teóricas***

La teoría del proceso de estabilización con cal es simple. La cal se adiciona al lodo para elevar el pH, y requiere un tiempo de contacto específico. A un pH superior a 12 y con suficiente tiempo de contacto, los patógenos y microorganismos pueden ser inactivados o destruidos. Las características físicas y químicas del lodo también se alteran por las reacciones que ocurren. La química del proceso no está bien estudiada, pero algunas moléculas complejas se transforman por medio de reacciones de hidrólisis y saponificación.

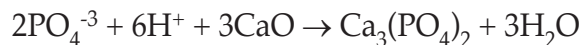
Algunas de estas reacciones son:

#### **Reacciones con constituyentes inorgánicos**

##### **Calcio**



##### **Fósforo**

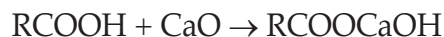


##### **Dióxido de carbono**

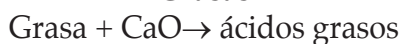


#### **Reacciones con constituyentes orgánicos**

##### **Ácidos**



##### **Grasas**



Inicialmente, la adición de cal eleva el pH del lodo. Entonces las reacciones anteriores ocurren. Si la cal que se adiciona no es suficiente, el pH disminuye al ocurrir estas reacciones. Por lo tanto se requiere un exceso de cal.

La actividad biológica produce compuestos tales como dióxido de carbono y ácidos orgánicos que reaccionan con la cal. Si la cal que se adiciona no es suficiente para detener la actividad biológica se producen estos compuestos que reducen el pH, producen malos olores impidiendo la estabilización del lodo.

En este proceso no hay reducción directa de materia orgánica lo que causa dos importantes impactos:



- a) La adición de cal hace al lodo químicamente estable. Si el pH cae por debajo de 11, la descomposición biológica se reanuda, produciendo olores nocivos.
- b) No hay reducción en la cantidad de lodo para disposición, como ocurre con los métodos de estabilización biológica. Por el contrario, la masa del lodo seco aumenta por la adición de cal y por la precipitación química que se deriva del proceso.

En la Figura 8.14, se muestran los métodos de estabilización alcalina que son usados: pre-estabilización y post-estabilización con cal.

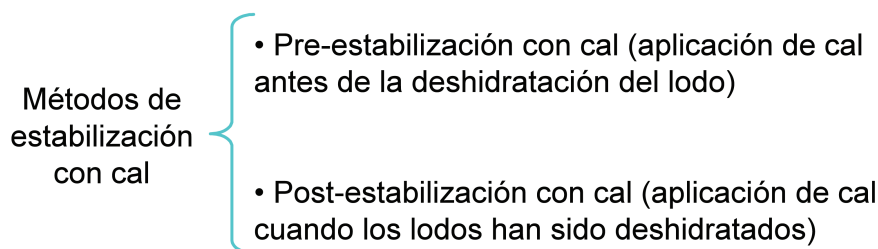


Figura 8.14 Métodos utilizados para la estabilización alcalina

## Eficiencia del proceso de digestión alcalina

### *Eficiencia del proceso*

Un sistema de encalado o post-encalado reduce el olor y la producción potencial de olor en el lodo, reduce los niveles de patógenos y mejora las características de deshidratado del lodo y se deben seguir las siguientes recomendaciones: (EPA, 1979)

- a) Agregar suficiente cal para elevar el pH a 12.
- b) Mantener el pH 12 por 2 horas.
- c) Mantener el pH 11.5 por 22 días.

### *Reducción de olor*

La estabilización con cal reduce los olores. Cuando se usan sistemas de mezclado con aire los olores amoniacales se incrementan debido a la desorción de amoníaco. Después de este proceso los olores se reducen por un factor de  $10^4$ .

Otro de los mayores problemas de olor en los sistemas de tratamiento de lodo lo constituye el sulfuro de hidrógeno, este es eliminado en el proceso de encalado cuando el pH se eleva por encima de 9 ya que a estos valores, el sulfuro se convierte en formas ionizadas no volátiles ( $\text{HS}^-$ ,  $\text{S}^{=}$ ).

### Reducción de patógenos

La pre-estabilización con cal o post-estabilización alcanzan reducciones significativas de patógenos si se mantiene el pH arriba de 12. Las investigaciones demuestran que la estabilización con cal reduce los coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales en concentraciones mayores al 99.9% Las concentraciones de *Salmonella* y *Pseudomonas aeruginosa* se redujeron por debajo de los límites de detección en experimentos realizados en la planta de Lebanon, Ohio (EPA, 1979).

Jiménez *et al.*, (2000) realizaron una investigación de la post estabilización alcalina en lodo primario deshidratado utilizando dosis de 15 a 40% (w/w) de cal viva, y lodos con un contenido entre 11.5 y 29% de ST. Los rangos mínimos y máximos de remoción obtenida fueron: 3.6 a 9.5 log de coliformes fecales, de 3.7 a 7.9 log para *Salmonella* sp y de 0.1 a 1.3 log para helmintos.

Existe poca información acerca de la reducción de virus y de huevos de helmintos durante este proceso. Análisis cualitativos realizados con microscopio indican una alta supervivencia de organismos superiores tales como quistes y huevos de *Ascaris*, así como huevecillos de helmintos, después de 24 horas de encalado con pH superior a 12. Tampoco se ha estudiado si mayores tiempos de contacto podrían destruir estos organismos. En la Tabla 8.14 se muestran los resultados de inactivación de microorganismos patógenos con el tratamiento de digestión alcalina aplicado a un lodo de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales, Ramírez *et al.*, (2000). Se aplicaron diferentes concentraciones de cal entre 7 y 14 g/L, a lodos con una concentración de ST entre 1.8 y 4% de ST. Los resultados muestran que la cal fue efectiva para la reducción de CF, pero los huevos de helminto fueron resistentes a este tratamiento con reducciones de solo 1 logaritmo. Así mismo se observa que la especie más abundante y resistente al tratamiento fue *Ascaris*.

Tabla 8.14 Inactivación de microorganismos patógenos por medio de estabilización alcalina

Muestra	C. F. NMP/Kg SST	<i>Ascaris</i> sp / Kg SST	<i>Trichuris</i> sp / Kg SST	<i>Hymenolepis</i> sp / Kg SST	<i>Toxocara</i> sp / Kg SST
Lodo crudo (1.8% ST)	1.142 X 10 <sup>6</sup>	1.09 X 10 <sup>6</sup>	6.85 X 10 <sup>4</sup>	1.83 X 10 <sup>4</sup>	2.28 X 10 <sup>3</sup>
7 g/L cal	1.2 X 10 <sup>2</sup>	1.07 X 10 <sup>5</sup>	2.33 X 10 <sup>3</sup>	-	-
9 g/L cal	1.21 X 10 <sup>2</sup>	1.86 X 10 <sup>5</sup>	7.27 X 10 <sup>3</sup>	-	-
11 g/L cal	7.84 X 10 <sup>2</sup>	8.16 X 10 <sup>4</sup>	1.56 X 10 <sup>3</sup>	-	-
Lodo crudo (2.5% ST)	8.69 X10 <sup>6</sup>	9.12 X 10 <sup>5</sup>	2.87 X 10 <sup>4</sup>	2.78 X 10 <sup>4</sup>	-
9 g/L cal	68	1.27 X 10 <sup>5</sup>	-	-	-

Muestra	C. F. NMP/Kg SST	<i>Ascaris sp</i> / Kg SST	<i>Trichuris sp</i> / Kg SST	<i>Hymenolepis sp</i> / Kg SST	<i>Toxocara sp</i> / Kg SST
10 g/L cal	55	8.54 X 10 <sup>4</sup>	2.19 X 10 <sup>3</sup>	-	-
12 g/L cal	58	8.23 X 10 <sup>4</sup>	-	-	-
14 g/L cal	72.7	6.98 X 10 <sup>4</sup>	-	1.45 X 10 <sup>3</sup>	-
16 g/L cal	64	8.88 X 10 <sup>4</sup>	1.27 X 10 <sup>3</sup>	-	-
Lodo crudo (3.5% ST)	1.31 X 10 <sup>6</sup>	5.84 X 10 <sup>5</sup>	3.94 X 10 <sup>3</sup>	4.32 X 10 <sup>4</sup>	2.62 X 10 <sup>3</sup>
7 g/L cal	63.5	4.32 X 10 <sup>4</sup>	-	-	1.27 X 10 <sup>3</sup>
10 g/L cal	58.8	8.0 X 10 <sup>4</sup>	2.35 X 10 <sup>3</sup>	-	-
12 g/L cal	47	1.12 X 10 <sup>5</sup>	6.58 X 10 <sup>3</sup>	-	9.92 X 10 <sup>2</sup>
14 g/L cal	46.5	4.65 X 10 <sup>4</sup>	9.30 X 10 <sup>2</sup>	-	-
16 g/L cal	44	2.81 X 10 <sup>4</sup>	-	-	-
18 g/L cal	43.5	1.82 X 10 <sup>4</sup>	-	-	-
Lodo crudo (4.0% ST)	1.17 X 10 <sup>7</sup>	5.11 X 10 <sup>5</sup>	9.5 X 10 <sup>3</sup>	2.6 X 10 <sup>4</sup>	-
7 g/L cal	65.5	2.16 X 10 <sup>5</sup>	1.31 X 10 <sup>4</sup>	-	1.31 X 10 <sup>3</sup>
9 g/L cal	43.8	1.46 X 10 <sup>5</sup>	1.13 X 10 <sup>4</sup>	-	-
10 g/L cal	43.5	5.56 X 10 <sup>4</sup>	-	-	-
12 g/L cal	49.4	1.32 X 10 <sup>5</sup>	2.96 X 10 <sup>3</sup>	-	9.87 X 10 <sup>2</sup>
14 g/L cal	49.4	7.3 X 10 <sup>4</sup>	2.96 X 10 <sup>3</sup>	-	-



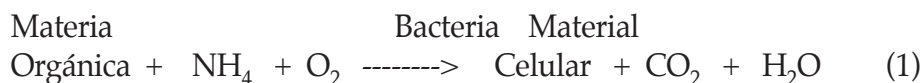
El composteo es un proceso de estabilización biológica de la materia orgánica en presencia de oxígeno y bajo condiciones controladas. Durante el composteo moléculas orgánicas complejas se transforman en compuestos simples, a través de la actividad y crecimiento de las bacterias, actinomicetos y hongos.

Durante el proceso los microorganismos utilizan una porción del carbono y nitrógeno para la síntesis de materiales celulares (crecimiento), y durante su actividad y desarrollo (respiración) generan calor incrementando la temperatura llegando a predominar en el proceso los microorganismos termofílicos. El rango óptimo de temperatura para estos microorganismos está entre 40 y 75°C. (Haug, 1993).

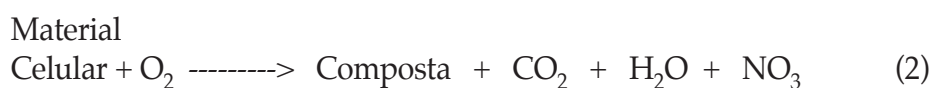
La intensidad y duración de este calor interno produce la rápida destrucción de los microorganismos patógenos y elimina los compuestos orgánicos productores del mal olor, asegurando la estabilidad del producto final. El composteo es un método que elimina la necesidad de digestores y otros procedimientos costosos.

Reacciones:

#### Fase 1



#### Fase 2





## 9.1 ETAPAS DEL PROCESO

El proceso de composteo consta básicamente de las siguientes etapas: mezclado, estabilización termofílica y curado o estabilización final; además existen dos etapas opcionales que son el secado y el cribado. En la figura 9.1, se muestra el diagrama de flujo del proceso.

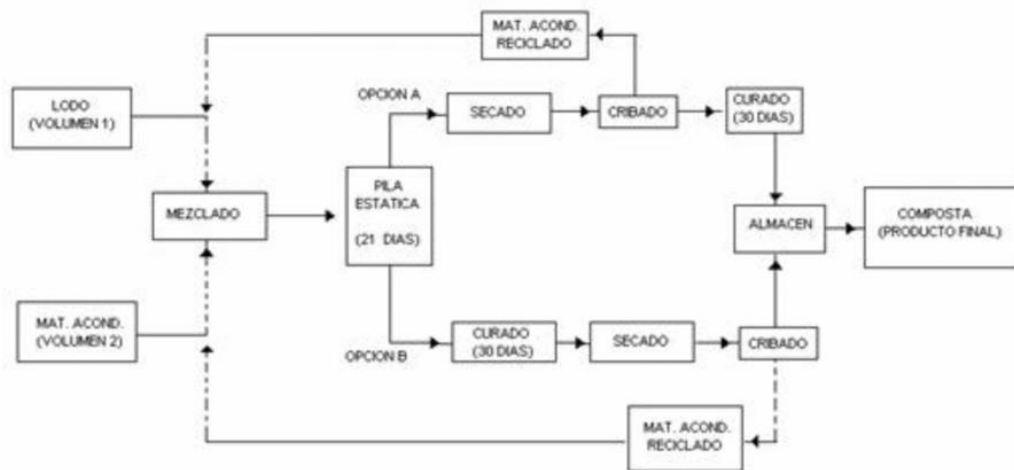


Figura 9.1 Diagrama de flujo del proceso de composteo

### Lodo

El lodo producto del tratamiento del agua residual debe estar deshidratado y con un contenido de sólidos totales (ST) de por los menos 20%.

### Material Acondicionador

El lodo sólo es parcialmente desaguado, el contenido de humedad es de 75 a 80%, por lo que es necesario incrementar su contenido de sólidos adicionando un material acondicionador que ayude a proporcionar la estructura, porosidad y textura necesarias para permitir las condiciones aerobias. Las partículas del material acondicionador necesitan también tener dureza, capacidad de adsorber humedad y proporcionar energía a la mezcla para que se alcancen las temperaturas termofílicas o proporcionar suficiente carbono para aumentar la relación carbono nitrógeno. La mezcla lodo/material acondicionador debe tener 50 a 60% de humedad.



Además de estos requisitos básicos se debe tomar en cuenta la disponibilidad y el costo del material acondicionador. Se debe enfocar la atención sobre todo en aquellos desechos

agroindustriales que se producen en grandes volúmenes como pedacería de madera, bagazo de caña, cascarilla de arroz, basura orgánica, etc. Otros materiales pueden considerarse como una fuente estacional de material por ejemplo, algunos desperdicios de la cosecha como olote, rastrojo, etc. La Tabla 9.1 presenta algunos materiales acondicionadores que fueron utilizados en experimentos realizados por el Instituto Mexicano del Tecnología del Agua (IMTA) y en la Tabla 9.2 las etapas del proceso.

Tabla 9.1 Materiales acondicionadores para el composteo

Pedacería de madera	Bagazo de caña
Desperdicios de la poda de árboles	Basura orgánica
Cáscara de arroz	Pasto de jardín
Carbón vegetal	Viruta de madera
Cáscara de coco	Tezontle
Cáscara de nuez	

Tabla 9.2 Etapas del proceso

Etapa	Función y características	Fotografía
Mezclado	Obtener una mezcla homogénea (lodo - material acondicionador) Porosidad 35 a 40% (espacios libres) Humedad ( $\leq 60\%$ ) Densidad aparente 0.6-0.4 ton/m <sup>3</sup> de mezcla	 Foto 9.1 Mezclado de lodos y materiales acondicionadores
Estabilización termofílica	Etapa de alta actividad microbiana caracterizada por presencia de microorganismos termofílicos y alta reducción de materiales biodegradables. Requiere control del proceso. Duración: 3 o 4 semanas. Temperatura: (40-55°C) Requerimientos: Aeración manual o forzada	 Foto 9.2 Pila estática en etapa de estabilización


Etapa	Función y características	Fotografía
Curado o estabilización final	Degradación de compuestos difícilmente biodegradables, bajas temperaturas, menores necesidades de oxígeno y baja producción de olor. Duración: Variable entre 30 y 90 días.	
Secado y cribado	Etapas opcionales para mejorar la calidad del producto. El cribado permite recuperar material acondicionado para reciclarse al proceso y un producto de tamaño homogéneo para diferentes usos. El secado ayuda a una mayor inactivación de microorganismos patógenos.	

Foto 9.3 Pila en curado

Foto 9.4 Criba artesanal para composta

## 9.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COMPOSTEO

La estabilización de la materia orgánica, la reducción de microorganismos patógenos y la remoción de sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas, son los principales objetivos del proceso. El desempeño del sistema depende del porcentaje de humedad o contenido de sólidos en la mezcla, de la relación carbono nitrógeno (C:N), de la concentración de oxígeno, del pH, la temperatura y de los materiales acondicionadores. En la Tabla 9.3 se resume la importancia de cada uno de estos parámetros dentro del proceso.

Tabla 9.3 Factores de importancia en el proceso de composteo

Factores	Importancia
Contenido de humedad o sólidos en la mezcla	La mezcla lodo-material acondicionador debe tener un contenido de humedad $\leq 60\%$ . Mayores contenidos de humedad provocan una degradación incompleta, bajas temperaturas y mal olor. Una mezcla muy seca (humedad $< 40\%$ ), inhibe el proceso. (Poincelot, 1975).
Relación carbono-nitrógeno (C:N)	La degradación de materia orgánica puede limitarse por el contenido de carbono y nitrógeno en la mezcla. Relación recomendada C:N es de 30:1 a 40:1 (Gray <i>et al.</i> , 1971, Poincelot, 1975)  Bajas relaciones C:N provocan pérdidas de nitrógeno por volatilización. Altas relaciones, por ejemplo 50:1, no permiten el sostenimiento de la masa microbiana. La relación C:N puede mejorar adicionando materiales que contengan carbón, por ejemplo cascarilla de arroz, bagazo de caña, viruta de madera.

Factores	Importancia
Aeración y oxígeno	La aeración se requiere para mantener condiciones aerobias, controlar la temperatura y evaporar el agua en exceso. 5-15% de oxígeno en la mezcla es adecuado para mantener condiciones aerobias.
pH	El pH de la mezcla debe estar en un rango de 6 a 8, por la actividad microbiana. pHs extremos $\leq 5$ o $\geq 10$ reducen la velocidad del proceso.
Temperatura	<p>Diversos microorganismos se presentan durante la etapa de composteo. En la etapa inicial se registran temperaturas entre 25 y 40°C y predominan los mesófilicos. En la etapa termofílica, donde hay mayor remoción de patógenos, se encuentra poblaciones de actinomicetos y bacterias termofílicas, las temperaturas puede llegar a los 80°C.</p> <p>La temperatura durante el proceso debe controlarse en un rango de 45 a 55°C, por medio de la aeración.</p>

### 9.3 SISTEMAS DE COMPOSTEO

El composteo puede realizarse por medio de camellones, en pila estática y en reactores. La Tabla 9.4, muestras las características de los diferentes tipos de sistemas.

Tabla 9.4 Principales sistemas de composteo


Sistemas	Características	Fotografía
Camellón o hileras	<p>La mezcla se coloca formando una hilera o camellón. Las dimensiones prácticas son de 15 m de largo, 4.5 m de ancho y 1.5 m de altura. El aire se suministra por volteo 3 o 4 semanas.</p> <p><b>Ventajas:</b> Fácil de operar, ideal para pequeños volúmenes de lodo.</p> <p><b>Desventajas:</b> Requerimientos de área, control del proceso para mantener condiciones aerobias y alcanzar temperaturas termofílicas.</p> <p><b>Inversión inicial:</b> Terreno, cargador frontal y camión para transporte de materiales.</p>	 <p>Foto 9.5 Composteo en camellón</p>

Tabla 9.4 Principales sistemas de composteo (continuación).

Sistemas	Características	Fotografía
Pila estática	<p>La mezcla se coloca formando una pila. Las dimensiones prácticas son de 20 m de largo, 6 m de ancho y de 2 o 3 m de altura. El aire se suministra por medio de un ventilador y un sistema de difusores de aire.</p> <p><b>Ventajas:</b> Menores requerimientos de área que el sistema de camellón, control total del proceso en forma manual o automática.</p> <p><b>Inversión:</b> Equipo de mezclado (opcional), superficie impermeable, ventiladores, sistema de difusores de aire, termopares, cargador frontal y camión para manejo de materiales.</p>	 <p>Foto 9.6 Composteo en pila estática</p>
Reactor	<p>Los reactores se construyen en forma rectangular o circular pueden ser de flujo horizontal, vertical o inclinado. Pueden tener un lecho fijo o móvil. El suministro de aire es por medio un sistema de difusores y un compresor.</p> <p><b>Ventajas:</b> Menores requerimientos de área, mayor control del proceso, control efectivo de olor y no hay efectos por cambios meteorológicos.</p> <p><b>Desventajas:</b> Altos costo de inversión, operación y mantenimiento.</p> <p><b>Inversión inicial:</b> Variable dependiendo del tipo de reactor seleccionado</p>	 <p>Foto 9.7 Reactores experimentales</p>

## 9.4 CONTROL DEL PROCESO

El proceso debe tener un control para garantizar que cumpla con los objetivos del tratamiento que son principalmente, obtener un producto estable similar a un abono orgánico e inactivar o matar los microorganismos patógenos. Los principales parámetros que deben controlarse en el proceso se muestran en la Tabla 9.5.



Tabla 9.5 Parámetros para el control del proceso

Parámetro	Criterio de control	Muestreo	
		Frecuencia	Puntos
Humedad	Mezcla inicial: 60% Durante el proceso de 40-60%	Semanalmente	<b>Mezcla inicial</b> , al inicio del proceso, si hay cambios en los materiales, cambios de estación que afecten el contenido de humedad (calor, lluvias, etc). <b>Mezcla en composteo</b> , durante el proceso.
Temperatura	55°C por tres días consecutivos en la etapa termofílica (Burge and Colaccio (1979)	Diariamente	<b>Mezcla en composteo y curado</b> , para asegurar la estabilización y la muerte o inactivación de patógenos
Oxígeno	5-15% de oxígeno en la mezcla	Opcional	<b>Mezcla en composteo</b> , en la etapa termofílica para asegurar condiciones aerobias
Supervivencia de patógenos, contenido de metales pesados y tóxicos orgánicos	De acuerdo a normas establecidas	Periódicamente	<b>En el lodo y la composta</b> , al inicio y final del proceso. Si hay cambios en los materiales acondicionadores. Periódicamente en la <b>composta</b> que va a ser utilizada o comercializada
Olor	No debe generar olor	Diariamente	<b>Mezcla en composteo</b> . Indica falta de oxígeno, falta de porosidad o exceso de humedad en la mezcla
Operación del proceso	De acuerdo al diseño	Diariamente	<b>Mezcla en composteo</b> . Revisión del funcionamiento de ventiladores, termopares, timers, etc.
Estabilidad y nutrientes	De acuerdo a normas	Periódicamente	<b>Composta</b> . Caracterización del producto y para control de calidad.

Las técnicas de análisis recomendadas para la caracterización del lodo y la composta se muestran en la Tabla 9.6.

Tabla 9.6 Parámetros y técnicas de análisis para lodos y compostas

Parámetro	Método
Temperatura	Termopares
Humedad y sólidos totales (ST)	Evaporación (1)
Sólidos volátiles (SV)	Ignición (1)
Potencial de hidrógeno (pH)	Electrodo en una solución con agua destilada de 1:1 y 1:5 (2)
Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)	Digestión (1)
Nitratos y nitritos	Colorimetría (1)
Carbono orgánico	Ignición u oxidación (1,2)
Nutrientes: Ca, K, Mg, y P	Absorción atómica o flamometría (1,2)
Densidad aparente	Método de la probeta (2)
Sales solubles: sulfatos, carbonatos, cloruros.	Extracto de saturación(2)
Tóxicos orgánicos: compuestos orgánicos volátiles (COV), plaguicidas, bifelinos policlorados, etc.	Cromatografía de gases (1,3)
Metales pesados	Absorción atómica (1, 4)
Micoorganismos patógenos: coliformes fecales y totales, enterococos y <i>Salmoella</i> , Huevos de helmintos.	Número más probable (1)(4), Cuenta directa (1)(4)

(1) APHA, 1998 ; (2) Black, 1965 ; (3) EPA, 1988; (4) NOM-004-SEMARNAT,2002

## 9.5 ESTABILIDAD DE LA COMPOSTA

Es término “estabilización” se refiere a la oxidación de la materia orgánica y a su conversión a formas más refractarias. Cuando la materia orgánica se oxida por medio de microorganismos, una porción de la energía liberada se aprovecha para la síntesis de nuevo material celular, y para transformar la materia orgánica a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Después de un determinado tiempo de reacción, queda materia orgánica que es muy resistente al ataque microbiano. Esto es lo que comúnmente se denomina humus o composta. Existen diferentes formas para medir el grado de estabilización de una composta, estos se describen a continuación:

### 9.5.1 MEDIDA DE LA RESPIRACIÓN MICROBIANA

Por este medio se mide el consumo de oxígeno de los microorganismos aerobios, producto de sus actividades metabólicas, a mayor consumo de oxígeno, mayor actividad microbiana aerobia. Una composta estable tendrá un consumo de oxígeno entre 100 a 20  $\text{mg O}_2 / \text{kg-d}$ . (Willson, 1986).

### 9.5.2 MEDIDA DEL EFECTO DE LA COMPOSTA SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE PLANTAS

El método más directo para determinar si una composta ha sido estabilizada completamente y no representa un riesgo de fitotoxicidad es determinar el efecto sobre el crecimiento de plantas. Zucconi *et al.*, 1981, desarrollaron una prueba basada en la medida del porcentaje de germinación y en la elongación de raíces en un extracto acuoso de composta. El procedimiento sólo requiere de 24 horas con incubación a 27°C y es cuantitativo.

### 9.5.3 LA RELACIÓN CARBONO: NITRÓGENO (C:N)

Esta relación es importante sobre todo porque la composta va a ser utilizada en agricultura, debido a que una relación C:N alta puede inmovilizar el nitrógeno y entorpecer el crecimiento de la planta.

La relación C:N es un indicador muy sensible del comportamiento del proceso, si el proceso de composteo se ha llevado en buenas condiciones la relación tenderá a reducirse, una relación baja es característica de una composta de alta calidad. Una relación de 5-6/1 es considerada como indicadora de un material estable.

### 9.5.4 MATERIA ORGÁNICA

La estabilización de la materia orgánica durante el composteo puede medirse en forma indirecta por medio de los siguientes parámetros: Sólidos volátiles (SV), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y carbón orgánico total (COT). Estos parámetros pueden servir para indicar la estabilidad de la composta pero no son medidas exactas y no sirven para hacer comparaciones con otras compostas.

### 9.5.5 SÓLIDOS VOLÁTILES (SV)

El porcentaje de sólidos volátiles (%SV) es medido por ignición de la muestra a 550°C, es ampliamente usado como una medida inexacta de la materia orgánica. La actividad biológica en el composteo decrementa el contenido de sólidos volátiles para convertir el carbón orgánico a CO<sub>2</sub>.

Si se toma su medida durante el proceso puede servir para evaluar esta actividad, sin embargo es una medida muy inexacta, la prueba no permite discriminar entre el material putrescible, que puede ser metabolizado durante el composteo y aquel que no puede ser descompuesto durante cualquier proceso de composteo.

La sensibilidad de la prueba es muy pobre debido al alto porcentaje de sólidos volátiles en la mezcla, esto provoca que sólo se lleve a cabo en el proceso una pequeña disminución del porcentaje final. Por ejemplo, si el porcentaje inicial de sólidos volátiles es de 80% al final se podría obtener sólo 67%. En el co-composteo con mezclas de basura municipal y lodos residuales, el decremento fue de 0.6% por día en un período de un mes, (Golueke *et al.*, 1987).

Otro problema técnico de por qué esta prueba no es muy precisa es debido a que sólo puede ser analizada una muestra muy pequeña y como son utilizados materiales acondicionadores como pedacería de madera, bagazo de caña, etc., estos no se pueden separar de la muestra quedando incluidos en el análisis, alterando así los resultados.

#### 9.5.6 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), está basada en la descomposición microbiana. Tanto la DBO como la DQO fueron desarrolladas para analizar agua residual más que para sólidos, por lo que representa un problema técnico, además los resultados no están disponibles hasta cinco días después.

#### 9.5.7 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La descomposición microbiana aerobia disminuye la capacidad de la materia orgánica para reducir los oxidantes químicos, tales como dicromato de potasio; debido a eso la demanda de oxígeno podría servir para cuantificar el grado de descomposición de la materia orgánica.

Al igual que los sólidos volátiles y la DBO, la DQO es una medida inexacta de la materia orgánica. No hay una constante entre la DQO y el grado de putrefacción. La DQO de la basura municipal disminuye de 900 a 350 mg/g durante seis meses del período de composteo (Lossin, 1971).

#### 9.5.8 CARBONO ORGÁNICO TOTAL

Es una prueba basada también en la destrucción de la materia orgánica y es más específica para materia orgánica.

Otros parámetros que pueden utilizarse para medir la estabilidad de la composta, se muestran en la Tabla 9.7.

Tabla 9.7 Otros parámetros utilizados para medir la estabilidad de la composta

Parámetros
- Disminución de la temperatura durante el composteo y curado.
- Bajo potencial de recalentamiento en la composta.
- Presencia de compuestos tales como nitratos y la ausencia de otros como amoníaco, sulfuros, ácidos orgánicos y almidones.
- Reducción de la atracción de insectos y del desarrollo de larvas en la composta.
- Cambio en las características del olor. La composta estabilizada tiene un olor característico a tierra húmeda.
- La experiencia del operador. La composta estabilizada puede determinarse por su color, textura, tamaño de partícula y olor.

FUENTE: Haug, 1993.

## 9.6 EQUIPOS Y MATERIALES PARA EL COMPOSTEO

En la Tabla 9.8 se enlistan los equipos y materiales que son útiles en un sistema de composteo. El camión de volteo sirve para transportar materiales acondicionadores y lodo al área de composteo, así como la composta a los sitios de venta. El cargador frontal va a hacer las labores de mezclado y montaje de la pila. La picadora va a fraccionar el material acondicionador hasta dejarlo a un tamaño adecuado de partícula (5 a 10 cm de largo).

Existen en el mercado mezcladores mecánicos que ayudan a hacer el mezclado de los materiales pero no sustituyen a los cargadores en el montaje de las pilas. La cribadora ayuda a obtener una composta de tamaño de partícula homogénea que va a hacer más atractiva para su venta, además ayuda a recuperar material acondicionador que puede ser recirculado al proceso.

Tabla 9.8 Equipos para el composteo

Concepto
Camión de volteo
Cargador frontal
Picadora
Mezcladores mecánicos
Cribadora
Bandas transportadoras
Equipo de aeración (Ventiladores y difusores)
Termopares

En las Fotos 9.8, 9.9 y 9.10 se muestran equipos utilizados durante en la preparación de materiales acondicionadores y el mezclado.



Foto 9.8 Camión para transporte de lodos a sitio de composteo



Foto 9.9 Picadora para el fraccionamiento del material acondicionador





Foto 9.10 Mezclador estático y bandas transportadoras para los materiales y mezcla

### Equipo para inyección de aire

Durante el proceso es necesario proporcionar oxígeno a la mezcla en composteo, esto se puede llevar a cabo mediante la aplicación de aeración forzada o mediante el volteo de la mezcla.

### Aeración forzada

Se aplica aire a la masa de lodos por medio de difusores y ventiladores. En la Foto 9.11 se observan los difusores contruidos en PVC, los cuales se perforan para que tenga salida el aire, este difusor va conectado a un ventilador centrífugo. En la Foto 9.12 se observa otro sistema de distribución de aire consistente en un canal perforado y en la Foto 9.13 los ventiladores.



Foto 9.11 Difusores de PVC



Foto 9.12 Canal de aeración



Foto 9.13 Ventilador centrífugo

## 9.7 ÁREAS DE UN SISTEMA DE COMPOSTEO

Para hacer la instalación de un sistema de composteo se requiere de diferentes áreas:

- a) Almacén de lodo y material acondicionador.
- b) Área de mezclado.

- c) Área de composteo (camellones, pila estática, o reactor).
- d) Área de pilas en curado.
- e) Área de cribado (opcional).
- f) Almacén de composta.
- g) Área de análisis para control del proceso.

## 9.8 CALIDAD DE LA COMPOSTA

La calidad de la composta se mide por el contenido de materia orgánica, contenido de nutrimentos, pH, contenido de sales, las bases intercambiables y la relación de adsorción de sodio (RAS). En la Tabla 9.9 se compara la composta de lodo residual con diferentes abonos orgánicos. Se observa la similitud en el contenido de materia orgánica y nutrimentos entre estas compostas y la obtenida con lodo residual.

Tabla 9.9 Comparación de abonos y composta de lodo residual

Parámetro	Abonos de:				
	Vacuno	Gallinaza	Porcino	Ovino	Composta de lodo residual
pH	8.7	7.6	7.2	9.0	6.3
Materia orgánica %	48.24	29.43	46.90	48.24	30
Nitrógeno %	2.10	5.10	3.10	2.30	5.0
Fósforo %	0.58	2.06	0.64	0.72	0.94
Potasio %	3.10	2.20	1.83	4.36	0.36

Desde el punto de vista de protección ambiental, la calidad de la composta la definen otros parámetros como son: el contenido de metales pesados, los compuestos orgánicos tóxicos (compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas, PCVs, etc.), y el contenido de microorganismos patógenos. El uso de la composta ya sea para usos agrícolas, forestales, parques y jardines viveros, se controla por medio de normas.

En México la aplicación de la composta de lodos residuales se controla por medio de los límites máximos permisibles señalados en la NOM-004-SEMARNAT-2002. *Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.*



### 10.1 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y NACIONALES

Los primeros estudios acerca de la conversión de lodos a vermicomposta fueron llevados a cabo entre los años 1977 a 1980, por Mitchell y colaboradores en donde investigaron el papel de *Eisenia foetida*, en la descomposición del lodo residual en los lechos de secado. Mediante un índice del consumo de oxígeno y la evolución del dióxido de carbono y metano, asimismo para saber como *E. foetida* puede alterar la forma y porcentaje de descomposición y la relación entre la biota específica y los componentes abióticos de la descomposición. En las dos plantas muestreadas las bacterias aerobias y anaerobias fueron abundantes y las bacterias dominantes no fueron entéricas, esto significa que se redujo la contaminación fecal, no se menciona el tipo de bacterias no entéricas encontradas. Se utilizó un modelo de simulación para evaluar el papel de la descomposición de macroinvertebrados en la descomposición del suelo.

En agosto de 1980, Camp, Dresser y McKee, Inc., Boston, MA, USA, llevaron a cabo un estudio para demostrar la factibilidad técnica y económica del proceso de vermiestabilización en varios estudios piloto. El estudio económico fue basado en el examen de las plantas de tratamiento y los costos para la operación de estas plantas que tratan el efluente de 50 mil personas y una comunidad de cerca de 500 mil personas. La vermiestabilización se comparó con otros tres métodos de lodos: relleno sanitario, composteo en camellón e incineración. Se estimó que el costo de la vermiestabilización era de \$24.0 a \$32.0 dólares americanos por tonelada de residuo procesado.

En 1981, Hornor y Mitchell, estudiaron los efectos de *Eisenia foetida* en los flujos del carbono volátil y de los compuestos de sulfuro de los lodos residuales, y Hartenstein, 1981, sugirió el uso de las lombrices como una solución para el manejo de lodos residuales. En sus estudios se seleccionaron dos especies *E. eugeniae* y *E. foetida*, debido a su alta tasa de reproducción y fácil manejo en condiciones de explotación a gran escala. Las principales observaciones del estudio fueron las siguientes: 1) *E. Foetida* permanece en el lodo el tiempo necesario hasta que es digerido. El lodo que ha sido consumido representan sus eses fecales y son tóxicas para ellas, por lo que tienen que buscar una nueva capa de alimento, 2) el conocimiento de la cantidad del material que pasa a través

del tubo digestivo de la lombriz por unidad de tiempo, para un determinado tipo de lodo, permite la predicción de la cantidad de lodo que se puede tratar por unidad de tiempo, y 3) *E. foetida* pierde y gana peso rápidamente, sobre un ilimitado suministro de materiales orgánicos.

En 1982, Collier y Livingstone, llevaron un estudio de factibilidad en las plantas de San José y Santa Clara de California, USA, utilizaron *E. foetida*. Se produjeron noventa toneladas de vermicomposta en un periodo de cinco años. Se instalaron camellones de diferente tamaño con diferentes densidades de lombriz. La vermicomposta se recogió mediante una cribadora rotatoria que ayudaba a separar la lombriz del sustrato. El análisis de costo demostró que el sistema tiene un costo de \$29.45 USD por tonelada seca con una producción de 10 toneladas de vermicomposta.

En 1982, Hartenstein, reportó los parámetros metabólicos de *E. foetida* en relación con la temperatura y el uso potencial del manejo del estiércol como una fuente de proteínas. En 1983, Chosson y Dupuy, concluyeron sus estudios sobre la actividad celulolítica de bacterias aerobias presentes en el tubo digestivo de las lombrices. En 1984, Hartenstein *et al.*, realizó un trabajo utilizando lombrices en filtros biológicos para tratamiento de agua residual.

En 1984, Loehr *et al.*, presentaron los resultados de una investigación del proceso de vermiestabilización en los que se había utilizado lodos residuales estabilizados y no estabilizados. Se evaluaron cuatro especies de lombriz: *E. foetida*, *E. eugeniae*, *P. hawaiana* y *P. excavatus*. La especie *E. foetida* resultó con la mayor capacidad reproductiva. El mejor crecimiento de *E. foetida*, en cuanto a peso ganado ocurrió al utilizar un lodo que tuvo una base húmeda entre 9 y 17%. El mejor crecimiento y producción de huevos para las especies de lombrices ocurrió con una temperatura de 20 a 25°C. Con lodos líquidos y deshidratados, la vermiestabilización fue exitosa por largos periodos de tiempo: más de un año para lodo deshidratado y por lo menos seis meses para lodos líquidos. Los costos estimados indican que los costos de inversión y anuales de la vermiestabilización de lodo líquido son competitivos con respecto a otros sistemas de manejo de lodo.

En 1985, Loehr *et al.*, evaluaron diferentes factores fundamentales que afectan el proceso de vermiestabilización tales como la temperatura, contenido de humedad y el uso combinado de diferentes especies de lombrices (policultivo). Se usaron las siguientes especies: *Dendrobaena veneta*, *E. foetida*, *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* y *Pheretima hawaiana*. El mejor crecimiento y reproducción ocurrió a temperaturas de 20 a 25°C. El crecimiento de todas las especies se redujo a 30°C y la muerte ocurrió a 35°C. De las cinco especies, *E. foetida* produjo el mayor número de individuos juveniles en veinte semanas del estudio. El crecimiento de *E. foetida* ocurrió de manera óptima con un lodo que tuvo una base húmeda, de 9 a 16%. El policultivo no tuvo ninguna ventaja sobre el monocultivo.



Loehr *et al.*, 1985, llevaron a cabo más estudios para identificar los factores fundamentales que afectan el proceso y determinar la relación entre el diseño y manejo del sistema. Las lombrices fueron el factor clave en la estabilización del lodo líquido. La estabilización no se llevó a cabo en los reactores que no contenían lombrices. La oxidación del nitrógeno en el drenaje de los reactores indicó que las condiciones aerobias se mantuvieron. Concluyeron que el proceso de vermiestabilización se puede lograr en el lodo líquido primario y el lodo deshidratado. Los balances de humedad indicaron que hubo una pérdida de humedad de 4% a 20%. El lodo primario se estabilizó en la misma forma que el lodo líquido aerobio. El contenido total de sólidos en los reactores de vermiestabilización tuvo un incremento del 0.6% al 1.3%. Por lo tanto el proceso de vermiestabilización es a la vez útil para la deshidratación y la estabilización de lodos. El análisis de costos que se incluyó en el estudio indica que el proceso de vermiestabilización es un proceso económicamente factible para su manejo.

En 1986, Stafford y Edwards, de la Estación Experimental de Rothamsted, en Inglaterra usaron lombrices para indicar el nivel de contaminación de los suelos en condiciones de campo y laboratorio.

Por otra parte *E. foetida* es conocida por contener enzimas bactericidas. Amaravadi *et al.*, 1990, probaron la actividad viricida de *E. foetida* usando los virus Cowpea (CPMV) y del tabaco (TMV). Las lombrices fueron alimentadas con celulosa saturada con una suspensión de virus y sus excretas fueron analizadas para determinar las proteínas intactas del virus usando el método de ELISA y la infectividad del virus por medio de ensayos locales. Los resultados indicaron una considerable reducción en la infectividad de ambos virus. La actividad viricida fue también observada cuando la suspensión de virus fue incubada con el extracto de enzima de las lombrices y analizada mediante el método de lesión local. La reducción observada en la infectividad de los virus sugiere que *E. foetida* podría poseer un sistema enzimático viricida, lo que puede contribuir a la inactivación de virus patogénicos asociados potencialmente con la aplicación de lodos residuales y estiércoles en suelos agrícolas.

Eastman, *et al.*, 1999 y 2001, llevaron a cabo un estudio de campo para demostrar la factibilidad del vermicomposteo como un método para la eliminación de patógenos para obtener biosólidos de Clase A de acuerdo a la normatividad americana (USEPA, 1994, CFR, 1). El sitio experimental estuvo ubicado en las instalaciones de la planta de tratamiento de la Ciudad de Ocoee en Florida.

La metodología experimental consistió en inocular dos camellones de 6 m de largo, en los cuales se inocularon con cuatro indicadores de patógenos humanos: coliformes fecales, *Salmonella*, sp., virus entéricos y huevos de helminto. Uno de los camellones se sembraron con lombrices de la especie *Eisenia foetida*, con una relación de densidad de 1:1.5 de peso húmedo de biomasa por lodo, para permitir el consumo y estabilización del lodo.

Los resultados mostraron que todos los indicadores de patógenos en el camellón con lombrices disminuyeron más que el camellón control en un periodo de 144 horas (6.4 log en coliformes fecales, 8.6 log en *Salmonella*, spp., 4.6 log en virus entéricos y 1.9 log en huevos de helminto). De acuerdo a los criterios establecidos por la USEPA de una reducción de tres a cuatro partes de organismos indicadores podría ser suficiente para garantizar al vermicomposteo como una metodología de estabilización. Estos resultados indican que el vermicomposteo es un método que puede ser usado como una alternativa para obtener biosólidos estabilizados de Clase A. En Tabla 10.1 se observa la reducción de patógenos durante el proceso de vermicomposteo y en la Foto 10.1 el sitio experimental.

Tabla 10.1 Reducción de patógenos durante el vermicomposteo en un sistema a escala real

Patógenos	Tiempo	Tratamiento 1 con lombrices		Tratamiento 2 sin lombrices	
		Concentración inicial	% de reducción	Concentración inicial	% de reducción
Coliformes fecales	24	$8.5 \times 10^9$ NMP / 1 g	98.7	$8.3 \times 10^9$ NMP / 1 g	20.0
Huevos de helminto viables	144	$8.26 \times 10^5$ huevos	98.87	$8.41 \times 10^5$ huevos	74.24
Virus entéricos	24	$1.97 \times 10^5$ UFC / 4 g	98.92	$1.73 \times 10^5$ UFC / 4 g	53.8
<i>Salmonella</i> , sp.	24	$4.6 \times 10^9$ células / 25 ml	99.99	$8.5 \times 10^9$ células / 25 ml	93.18

FUENTE: Eastman, 1999.



Foto 10.1 Pruebas de vermicomposteo a escala real en instalaciones de la planta de tratamiento de la ciudad de Ocoee's, en el estado de Florida

Fuente: Eastman, 1999.

En México se cuenta con experiencia en la vermiestabilización de residuos orgánicos, tales como los residuos de café y basuras. Existe la Asociación Mexicana de Lombricultores, AC, organismo no lucrativo constituido en 1999 por 25 lombricultores particulares, la mayoría situados en la zona centro del estado de Veracruz, Estado de México, Distrito Federal, Oaxaca, Puebla, Texcoco y San Luis Potosí. En esta asociación se incluyen instituciones de investigación, como el Instituto de Ecología, AC, y Capacitación y Desarrollo Rural (Uncader).

La Secretaría de Agricultura también cuenta con programas de capacitación en este tema. Varias universidades del país (Universidad Autónoma de Chapingo, Universidad de Guadalajara, Politécnico Nacional, Universidad Autónoma del Estado de Morelos) ha surgido el interés por el estudio de lombrices para el tratamiento de diferentes desechos y el aprovechamiento de vermicompostas

En el IMTA se desarrolló tecnología para el tratamiento y aprovechamiento de lodos residuales por medio del vermicomposteo. La tecnología consiste en la vermiestabilización conjunta del lodo residual con otros materiales orgánicos disponibles como el lirio acuático. El desarrollo experimental de la tecnología se inició en 1998 en las instalaciones del IMTA (Laboratorio de Calidad del Agua y Planta Piloto). En 1999, la Comisión Nacional del Agua se interesó por la idea de esta nueva alternativa para el tratamiento de lodos y solicitó que se hicieran estudios más detallados sobre el vermicomposteo, por lo que como parte de un proyecto contratado por esta institución se hicieron varias pruebas experimentales. La vermicomposta obtenida fue probada con éxito en el crecimiento de plantas ornamentales en condiciones de vivero, (Cardoso, *et al.*, 1999 y Cardoso, *et al.*, 2002). En el mismo año de 1999 se instaló en el IMTA el primer módulo de vermicomposteo a escala real para el tratamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento del Instituto, el cual sigue operando exitosamente hasta la fecha. Este módulo sirve para dar capacitación sobre esta tecnología y además para difundirla a través de todos los grupos que visitan el Instituto, (Foto 10.2), el sistema tiene las siguientes características:

- a) Techo de policarbonato.
- b) Un solo lecho de forma rectangular construido con tabique y cemento.
- c) Dimensiones: 4.70 m largo x 0.74 m ancho x 0.50 m altura.
- d) Densidad de población, aproximadamente 50,000 a 70,000 en un área de 3.5 m<sup>2</sup>.
- e) Lombrices de la especie: *Eisenia foetida*.
- f) Se alimenta con la generación del lodo residual de la planta de tratamiento, basura de jardín, lirio acuático, algas y desperdicio de comida.
- g) Producción de anual de vermicomposta de: 2 a 3 m<sup>3</sup>.



Foto 10.2. Sistema de vermicomposteo IMTA para una planta de tratamiento de  $<1$  L/s

A partir de los resultados obtenidos se generaron porcentajes de mezclas óptimas de sustratos y parámetros de operación y diseño para la instalación de un sistema de vermiestabilización. Para un estudio en particular a escala real se seleccionó una planta de tratamiento de lodos activados con aeración extendida con un flujo de menos de 10 L/s y una generación de lodos de  $<4.8$  m<sup>3</sup>/mes, deshidratados en lechos de secado. El sistema de vermicomposteo, Foto 10.3, tiene las siguientes características:

- a) Diseñado para el tratamiento de 1.2 m<sup>3</sup>/semana de lodo deshidratado (20% de humedad).
- b) Techo de lámina, para protección del sistema y de los operadores, superficie techada 29.48 m<sup>2</sup>.
- c) Dos lechos con un piso en medio para permitir el paso de una carretilla, cada lecho con un volumen de 6.25 m<sup>3</sup>.
- d) Área total: 4.96 m x 11.96 m = 59.3 m<sup>2</sup>.
- e) Área de almacenamiento ubicada en la parte inferior de cada uno de los lechos 3.0 m<sup>2</sup>. Esta área de diseño para colocar herramientas de trabajo o vermicomposta envasada.





Foto 10.3. Sistema de vermicomposteo en una planta de tratamiento de  $<10$  L/s

Los lechos cuentan con un sistema de drenaje, que consiste en una pequeña pendiente que conduce el exceso de humedad a orificios distribuidos cada metro a lo largo del lecho. Los orificios están conectados a tubería de PVC de 1.5 cm de diámetro, que se unen a un colector común para facilitar la captación de lixiviados en un envase. La disposición de la tubería se hizo lo más cercana al piso del lecho para dejar espacio suficiente entre el lecho y el suelo, Foto 10.4.

Los resultados se encuentran en una hoja anexa.

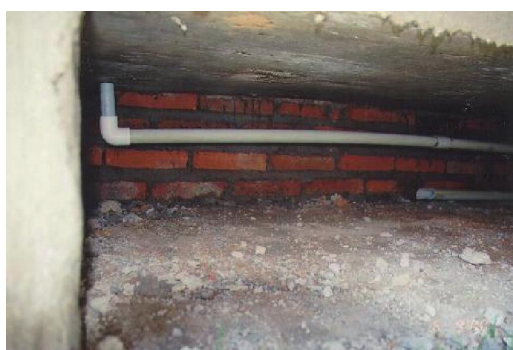




Canaleta de drenaje en el piso del vermicompostero



Orificios de desagüe



Tubo de PVC para la recolección de lixiviados



Llave de PVC para el control de lixiviados

Foto 10.4. Detalles constructivos del sistema de drenaje en el sistema de vermicomposteo

En una industria de la Ciudad de Guadalajara se encontró otra experiencia sobre un sistema de vermicomposteo. Esta empresa cuenta con una planta de tratamiento para las descargas sanitarias, los lodos que se producen en esta planta se tratan en un sistema de vermicomposteo que consiste en lechos, contruidos con tabicones. El lodo es colocado dentro de estas estructuras y estabilizado hasta producir una vermicomposta, la cual es utilizada en los jardines de la empresa, Foto 10.5 y Foto 10.6.



Foto 10.5. Vista panorámica del sistema de vermicomposteo en Guadalajara

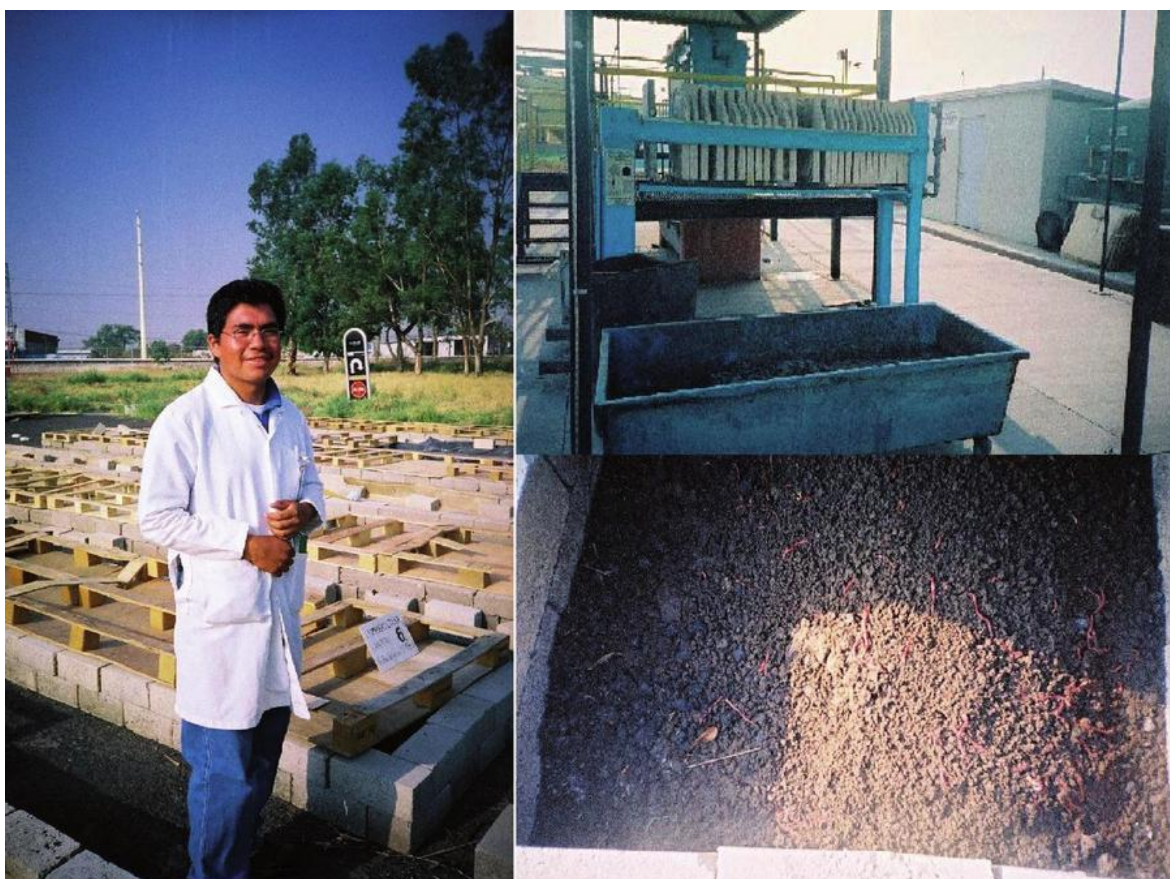


Foto 10.6. Sistema de vermicomposteo en una industria en Guadalajara



## 10.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE VERMICOMPOSTEO

El vermicomposteo se define como la degradación de material orgánico por medio de lombrices. Además, las lombrices también ayudan a la penetración de aire y agua debido a su movilización a través del sustrato. Este movimiento permite el desplazamiento de partículas a lo largo de diferentes estratos. Las lombrices pueden desarrollarse sólo bajo condiciones aerobias, que son provocadas por la porosidad de los materiales donde subsisten y por la misma aeración que estos animales provocan por su desplazamiento a través del material. Las condiciones aerobias así establecidas ayudan al florecimiento de microorganismos aerobios que conjuntamente con las lombrices degradan los desechos. Es un proceso de descomposición natural, similar al composteo termofílico, pero en este el material orgánico, además de ser atacado por los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos y levaduras existentes en el medio natural), también lo es por el complejo sistema digestivo de la lombriz y a diferencia del composteo termofílico se lleva a cabo a temperatura ambiente.

En el intestino de la lombriz ocurren cuatro procesos:

- a) Fraccionamiento.
- b) Desdoblamiento.
- c) Síntesis.
- d) Enriquecimiento enzimático y microbiano.

Esto tiene como consecuencia un aumento significativo en la velocidad de degradación y mineralización del residuo, obteniendo un producto de alta calidad. Dicha transformación hace que los niveles de pérdida de nutrientes como nitrógeno y potasio, sean mínimos con relación a los sistemas tradicionales de composteo.

El resultado son dos productos de alta calidad:

- a) El humus
- b) Las lombrices.

Las lombrices actúan sobre las poblaciones de microorganismos, balanceando las floras (consumen las bacterias del ciclo del carbono y favorecen el desarrollo de las del nitrógeno).

### 10.2.1 ETAPAS DEL VERMICOMPOSTEO

Las etapas del proceso se encuentran representadas en Figura 10.1, en donde se identifican las etapas básicas de pre-composteo, preparación de alimento, producción de humus y cosecha de lombrices.

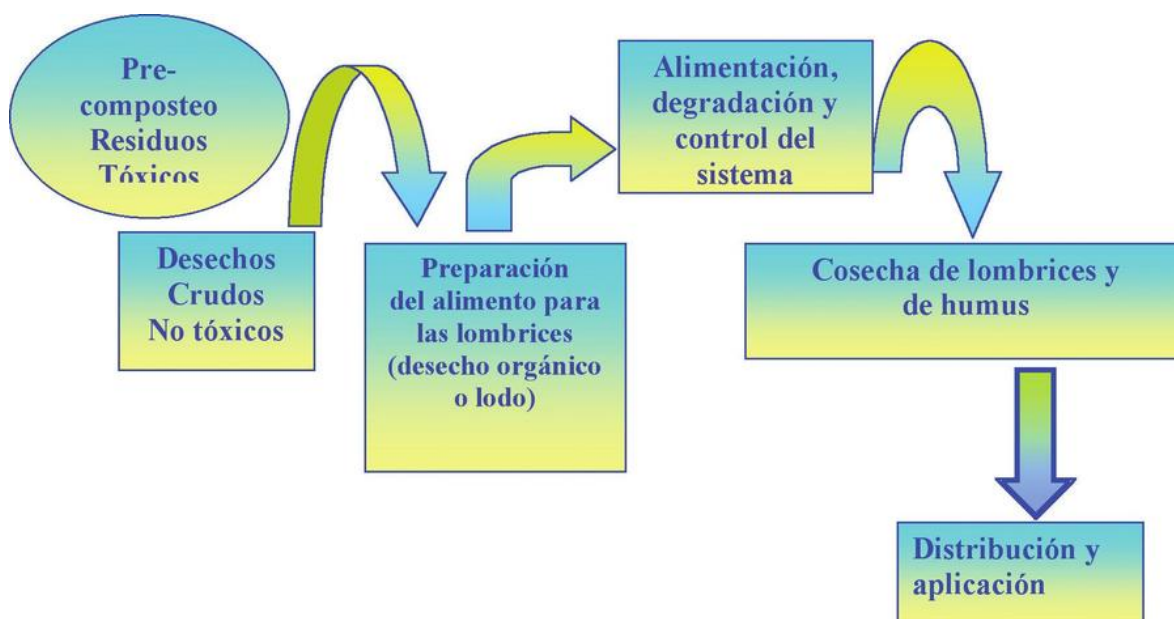


Figura 10.1 Etapas del proceso de vermicomposteo

#### 10.2.1.1 PRECOMPOSTEO

Esta etapa es necesaria para aquellos desechos que por su naturaleza tóxica o difícilmente biodegradables necesiten de una digestión previa para después continuar con el vermicomposteo, por ejemplo, los desechos orgánicos de una curtiduría. Harris, 1990, menciona que en algunas plantas municipales donde ya se llevaba el composteo termofílico se agregó una etapa de vermicomposteo a parte de la producción de composta para obtener un producto de mejor calidad.

La etapa pre-composteo puede tener una duración de 7 a 30 días antes de que pueda ser ocupado como alimento para las lombrices, de este modo en estos materiales se irán desarrollando los organismos (hongos, bacterias, algas, protozoarios) que constituirán el alimento de las lombrices.

#### 10.2.1.2 PARÁMETROS DE CONTROL Y PREPARACIÓN DEL ALIMENTO PARA LAS LOMBRICES

Los desechos que se pueden procesar a través del vermicomposteo y que constituyen el alimento de las lombrices pueden ser materiales orgánicos de diverso origen, Tabla 10.2. Estos materiales se puede usar solos o en forma combinada, dependiendo del costo y disponibilidad. En el caso del lodo residual se puede considerar como alimento único y complementándolo con basura de jardín proveniente de las áreas verdes de la planta de tratamiento.

Los parámetros que se deben considerar en la composición y preparación del alimento (lodo o desechos) son:

- a) Humedad.- La humedad óptima está en el rango de 80-90%
- b) Densidad.- Tamaño de partículas, porosidad y densidad de la mezcla. La densidad de la mezcla máxima debe ser 0.6 ton/m<sup>3</sup> para permitir una porosidad óptima.
- c) Relación carbono-nitrógeno.- El rango óptimo es de 30:1.
- d) pH.- El pH óptimo para el crecimiento de microorganismo y lombrices es de 6-8.
- e) Concentración de sales.- Depende del tipo de sal.
- f) Temperatura.- La temperatura óptima varía de 20° a 25 °C

Tabla 10.2. Materiales para alimentación de las lombrices

Residuos caseros.
Desperdicios de comida, papel de baño, servilletas, residuos de jardín, papel, cartón, etc.
Residuos municipales.
Basura orgánica municipal, basura orgánica de mercados y centros comerciales.
Lodo residual de plantas de tratamiento municipal.
Lodos de azolve.
Residuos orgánicos de rastros municipales.
Residuos de jardinería municipal.
Residuos cloacales.
Residuos agroindustriales.
Desperdicios agrícolas o agroindustriales: residuos de cultivos de cebollas y de café.
Estiércoles: gallinaza, vacuno y ovino.
Residuos vitivinícolas.
Plantas frutales.
Residuos industriales.
Residuos orgánicos de curtidurías.
Lodos residuales de plantas de tratamiento de la industria textil.

Para la preparación de los desechos que van a constituir el alimento de las lombrices se requiere que éste cumpla con las siguientes condiciones.

#### a) Humedad

Las lombrices respiran el oxígeno disuelto a través de la piel, por lo que es necesario tener condiciones de humedad adecuadas. La humedad del alimento puede fluctuar entre 80 a 90%. Este valor corresponde a 40-45% del instrumental en uso en el ámbito agronómico (higrómetros). Una prueba rápida para medir el porcentaje de humedad en



el sustrato se conoce como prueba de puño, la cual consiste en agarrar una cantidad del sustrato con el puño de una mano, posteriormente se le aplica fuerza, lo normal de un brazo y si salen de 8 a 10 gotas es que la humedad está en un 80 % aproximadamente. Las lombrices toleran durante horas un exceso de humedad. Cuando llueve torrencialmente las lombrices se salen del sustrato. Se debe evitar encharcamiento permanente, por lo que el proceso de vermicomposteo debe considerar la construcción de un sistema de drenaje.

Si se van a usar como alimento lodos provenientes de lechos de secado, se tiene que considerar que con esta tecnología de deshidratación de lodo se puede llegar a remover hasta 70% de humedad, sin embargo no se debe usar el lodo secado hasta este nivel, sino cuando todavía tiene humedad suficiente y presenta una consistencia de pasta de dientes, que puede ser paleado fácilmente pero sin llegar a tener la forma de una costra seca, ver Foto 10.7.

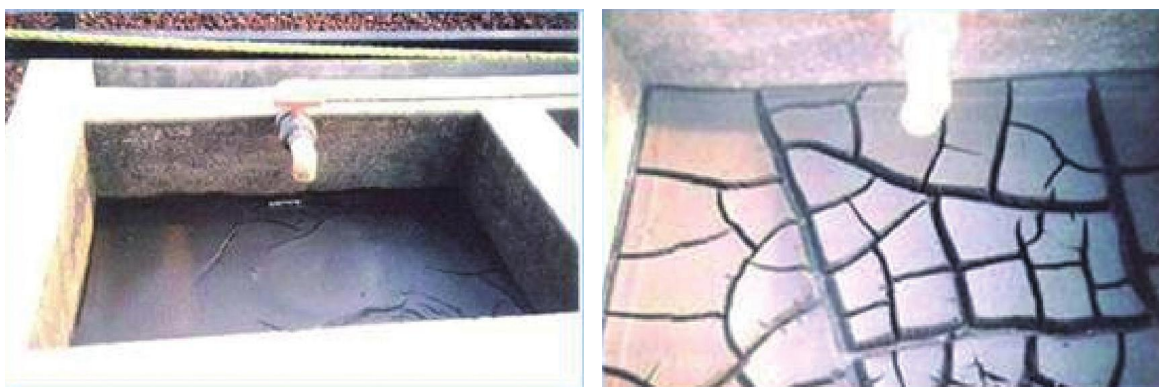


Foto 10.7. Lodos adecuados para vermicomposteo provenientes de lechos de secado

La humedad del lodo deshidratado mecánicamente por filtro prensa o centrífuga es el adecuado para las lombrices ya que contiene de 70 a 80% de humedad. Para materiales orgánicos que están deshidratados una forma de aumentar el contenido de humedad consiste en poner agua en la mezcla de desechos mientras estos son mezclados. Los materiales triturados se mezclan homogéneamente y se humectan para alcanzar un porcentaje de humedad entre 70 y 80%, suficiente para que las lombrices puedan deslizarse ágilmente en los residuos. Además es necesario recordar que estos animales respiran a través de la piel por lo que es necesario tener condiciones de humedad adecuadas.

#### b) Densidad

El tamaño de las partículas, la porosidad y la densidad de la mezcla en el vermicomposteo son importantes debido a que pueden afectar la correcta difusión del oxígeno. En el caso del lodo residual por si sólo no tiene ningún problema porque es un material homogéneo y suave por el cual pueden desenvolverse y transitar fácilmente las lombrices. Para

otros materiales como residuos agroindustriales o basura de jardín, en la que hay restos de plantas, pedacería de madera se tiene que llevar a cabo un procedimiento de desmenuzado. Una manera práctica de obtener una mezcla homogénea es asegurar que el tamaño de las partículas que entran al proceso no sea mayor a 10 cm, o que al final del mezclado las partículas no rebasen esta medida, para lograr esto es necesario hacer el desmenuzamiento del material en forma manual con un zapapico o en forma mecánica con un molino de martillos. Se debe tomar en cuenta que la labor de las lombrices se facilita si las partículas son más pequeñas. Para tener un control práctico de la porosidad de la mezcla se debe medir la densidad, la cual es la medida de las partículas sólidas de la mezcla y el espacio vacío (espacio intersticial), por donde circulan el oxígeno y otros gases derivados de la degradación. Los pasos para la determinación de la densidad se describen en la Tabla 10.3.

Tabla 10.3 Procedimiento para la determinación de la densidad de la mezcla inicial de alimento para lombrices

<p>Procedimiento:</p> <p>Tomar una muestra de la mezcla recién hecha. La mezcla se puede tomar en una cubeta, con el volumen necesario para llenar una probeta o un vaso de precipitado de 1000 mL.</p> <p>Se pesa la probeta o el vaso de 1000 mL vacíos, se anota el peso.</p> <p>Se coloca en la probeta de 1000 mL la mezcla hasta el punto de aforo, se golpea levemente la probeta 10 veces sobre un lienzo de laboratorio, para permitir que las partículas se asienten y se vuelve a llenar con más mezcla hasta el punto de aforo.</p> <p>Se pesa la probeta con la mezcla, se descuenta el peso de la probeta vacía.</p> <p>Se calcula la densidad de acuerdo a la siguiente fórmula:</p>
<p>Densidad aparente: <math>DA = P / V</math></p> <p>Donde:</p> <p>DA= Densidad aparente de la mezcla, g/mL</p> <p>P= peso de la mezcla en gramos</p> <p>V= Volumen de la probeta en mililitros</p>
<p>La densidad de la mezcla debe estar en un rango de 0.5 a 0.7 g/mL para asegurar una porosidad adecuada. Si la mezcla no está dentro de este rango se tiene que ajustar adicionando materiales acondicionadores tales como estiércoles, basura de jardín, lirio acuático, residuos de café, etc.</p>

#### c) Relación carbono nitrógeno

La descomposición de los materiales está limitada por la cantidad de carbono y nitrógeno, o expresada por su relación C/N. La relación que se recomienda para el inicio del vermicomposteo es de 30 a 40/1 (Gray *et al.*, 1971, Poincelot, 1975).

Esta relación se debe a que se sabe que los microorganismos necesitan de 30 o 40 partes de carbono para degradar 1 parte de nitrógeno. Con una relación C/N baja se logra desarrollar el composteo, pero éste se retarda debido a que no hay un balance adecuado entre el carbono y el nitrógeno.

De acuerdo a Richard, *et al.*, 1998, cuando la relación C/N es baja la cantidad de nitrógeno es elevada, la mezcla en vermicomposteo puede conducir a procesos anaerobios. Una relación alta (>50/1), también provoca entorpecimiento del proceso porque no hay suficiente cantidad de nitrógeno, lo que imposibilita sostener la masa microbiana, en este caso el registro de temperaturas será bajo.

El lodo residual por lo general tiene relaciones C/N muy bajas 5 a 10, por lo que si es posible obtener otros materiales ricos en carbono como basura de jardín y bagazo de caña, que es conveniente agregarlos para acelerar el proceso, Tabla 10.4.

Tabla 10.4. Materiales con alto contenido de carbono y nitrógeno

Materiales con alto contenido de carbono	C/N
Hojas	30-80:1
Paja	40-100:1
Pedacería de madera o aserrín	100-500:1
Corteza de árbol	100-130:1
Mezcla de papel	150-200:1
Periódico o papel carbón	560:1
<b>Materiales con alto contenido de nitrógeno</b>	<b>C/N</b>
Desperdicios vegetales	15-20:1
Granos de café	20:1
Recortes de pasto	15-25:1
Estiércol	5-25:1
Fuente: Dickson <i>et al.</i> , 1991.	

Para calcular la relación carbono/ nitrógeno se requiere de tener valores de nitrógeno total Kjeldhal y carbono orgánico o materia orgánica, con los datos se sigue el procedimiento descrito en la ecuación 1.

**Ecuación 1. Relación carbono-nitrógeno para cada material**

Relación  $C/N = \%C / \%NTK$

Donde:

C= carbono orgánico

NTK= nitrógeno total Kjeldhal

Ejemplo:

Si una muestra del lodo tiene:

$\%C=32.75$

$\%NTK=3.38$

Tenemos que la relación C/N del lodo es de: 9.7/1.0

De esta forma se pueden calcular la relación C/N para cada uno de los desechos orgánicos que van a entrar al vermicomposteo. En la Tabla 10.5, se pueden observar las relaciones C/N para lodo residual, lirio acuático y basura de jardín.

Tabla 10.5. Relación C/N de diferentes desechos

Material	C orgánico %	N-total %	Relación C/N
Lodo fresco	32.75	3.38	9.69:1
Lodo seco	22.00	2.82	7.80:1
Lirio acuático	143.75	6.25	23.0:1
Basura de jardín	44.58	1.95	22.86:1

FUENTE: Cardoso y Ramírez, 2000.

Para calcular la relación C/N de cada una de las mezclas se utiliza la ecuación 2:

**Ecuación 2. Relación carbono-nitrógeno de las mezclas, (Richard, T.L. and L.P. Walker. 1998.)**

$$R = \frac{Q_1 (C_1 \times (100-M_1)) + Q_2 (C_2 \times (100-M_2)) + Q_3 (C_3 \times (100-M_3)) + \dots}{Q_1 (N_1 \times (100-M_1)) + Q_2 (N_2 \times (100-M_2)) + Q_3 (N_3 \times (100-M_3)) + \dots}$$

Donde:

R= Relación C/N de mezcla que entra al composteo o vermicomposteo.

Qn= Peso del material n (peso seco o peso húmedo).

Cn= %carbono del material n.

Nn= % de nitrógeno total Kjeldhal del material n.

Mn= % de humedad del material n.

En síntesis la relación C/N es un importante parámetro de control para el proceso de vermicomposteo. Para calcularlo es necesario conocer el contenido de nitrógeno, carbono, sólidos y humedad de las muestras. Es indispensable también contar con materiales acondicionadores que representen fuentes adicionales de carbono o nitrógeno, que sean de fácil acceso y bajo costo.

#### d) Concentración de pH

De acuerdo a estudios experimentales llevados a cabo por Kaplan *et al.*, 1980, las lombrices mueren después de ser sometidas a un pH <5 ó >9, pero sobreviven y ganan peso cuando están expuestas a un pH en un rango de 6 a 9. La mayoría de los lodos municipales oscilan en pH de 6.5 a 8.5. Otros materiales orgánicos con una etapa previa de descomposición (pre-compostados), como los estiércoles de herbívoros (los estiércoles/ camas aviares y/o de porcinos requieren consideraciones adicionales) y restos vegetales,

normalmente se hallan comprendidos entre 5 (ácido) y 9 (alcalino). Cuando existe una cantidad considerable de materia orgánica con estos valores extremos es invadida por las lombrices, evolucionando el pH gradualmente hacia valores cercanos a 7 (6,8 a 8.0) y que caracteriza a la mayoría de las vermicompostas. Estos valores se pueden medir con un potenciómetro ya sea digital (los mas caros) o bien recurrir a los que usan los floricultores (económicos), de un solo electrodo (funcionan sin pilas, cargándose con la limpieza/frotación). Existen también papeles que se presionan contra el sustrato y el color que adquieren se compara con una escala que acompaña los mismos y que permite aproximar el pH.

#### e) Concentración de sales

En la Tabla 10.6 se observan los cambios de peso que se registraron como respuesta de *E. foetida* a diferentes concentraciones de sales, de acuerdo a un estudio desarrollado por Kaplan *et al.*, 1980. *E. foetida* perdió peso o murió cuando fue expuesta a una concentración de sales de 0.5%. Con el acetato de  $\text{NH}_4$  la muerte ocurrió con una concentración de 0.1%. *E. foetida* ganó peso cuando la conductividad eléctrica de los lodos activados frescos era de 1 a 2% y en los lodos deshidratados de los lechos de secados alrededor de 0.9 a 1.5 mmhos.

El estiércol de caballo sin orina con un valor cerca de 1.5 a 3 mmhos, permitió a *E. foetida* desarrollarse de una etapa inmadura a adulta en 6 semanas (Harsterstein *et al.*, 1979). Si el estiércol se contamina con orina puede subir el valor de la conductividad eléctrica hasta 15 mmhos esta concentración es tóxica para las lombrices.

Tabla 10.6 Cambios de peso de *E. foetida* en relación a la concentración de sales

Sales	Concentración $\text{mg/kg}^{-1}$	Cambio de peso (Promedio $\pm$ SE%)
KCl	0	+8.8 $\pm$ 5.10
	1000	$\pm$ 9.4 $\pm$ 3.85
	5000	-16.4 $\pm$ 1.42
	10,000	Pérdida total
	20,000	Pérdida total
NaCl	0	+9.3 $\pm$ 5.41
	1000	$\pm$ 9.2 $\pm$ 4.04
	5000	Pérdida total
	10,000	Pérdida total
$\text{NaH}_2\text{PO}_4$	0	+2.8 $\pm$ 2.60
	1000	$\pm$ 20.9 $\pm$ 4.71
	5000	-10.1 $\pm$ 8.80
	10,000	Pérdida total



Tabla 10.6 Cambios de peso de *E. foetida* en relación a la concentración de sales  
(continuación)

Sales	Concentración mg/kg <sup>-1</sup>	Cambio de peso (Promedio ± SE%)
Acetato-K	0	+14.0±1.34
	1000	+7.0±1.63
	5000	-19.7±1.36
	10,000	Pérdida total
Acetato-N	0	+6.3±0.90
	1000	+18.5±0.71
	5000	-21.8
	10,000	Pérdida total
Acetato-NH <sub>4</sub>	0	+14.9±2.13
	1000	Pérdida total
	5000	Pérdida total
	10,000	Pérdida total
CaCO <sub>3</sub>	0	+5.7±1.46
	10,000	+2.8±1.03
	25,000	+3.2±0.97
	50,000	Pérdida total
CaCO <sub>4</sub>	0	+15.1±0.86
	10,000	+2.5±5.26
	25,000	+13.86±4.30
	50,000	+11.6±3.54

FUENTE: Kaplan *et al.*, 1980

Condiciones experimentales: 15°C, 85% sustrato de crecimiento, 15% suelo N=3

De acuerdo a los estudios de Kaplan *et al.*, 1980, no se observaron efectos nocivos que fueran en detrimento en el peso de las lombrices con concentraciones de coagulante arriba de 0.1%, la cual es una concentración arriba de las utilizadas en el tratamiento del agua. Altas concentraciones de carbonato de cal no tuvieron efectos negativos, pero las lombrices se vieron afectadas en su peso con concentraciones arriba del 0.1% de FeSO<sub>4</sub>, FeCl<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.

Una concentración de 10% de aluminio o FeCl<sub>3</sub> provocó una mortalidad del 100%. De acuerdo a estudios llevados a cabo por Mitchell *et al.*, 1977, se demostró que colocando *E. foetida* en lodo anaerobio fresco o en excretas humanas frescas el resultado fue de 100% de mortalidad en pocas horas. Pero cuando el lodo anaerobio se sometió a la presencia de aire el potencial redox (Eh) aumentó, lo que demostró que las lombrices pueden

sobrevivir en el lodo anaerobio sólo si el lodo tiene un potencial redox,  $Eh > 250$  mV. Las lombrices requieren oxígeno, este gas presente en el aire en aproximadamente un 20%, posiblemente determine la profundidad hasta la que penetra *E. foetida* en el sustrato, ya que el dióxido (anhídrido) carbónico, aún en concentraciones elevadas, no afecta mayormente a las lombrices.

Consecuentemente, la compactación del sustrato puede circunscribir el accionar de los animales, si bien a la larga lo des-compactan. Normalmente, las lombrices no ingresan más allá de los 40 cm de profundidad. El amoníaco y otros compuestos amoniacales gaseosos o solubles en agua pueden causarles daño en concentraciones elevadas. Estos productos son habituales en las fases de descomposición de la materia orgánica rica en proteínas (cárneos, abundante verdura de hoja, orines y algunos estiércoles de animales con mucha proteína residual, por ejemplo los cerdos).

Los materiales para cubrir los lechos deben ser porosos como, paja, pasto o sintéticas del tipo malla de invernadero y descartarse todo material no poroso que pudiera entorpecer la libre difusión de los gases.

#### f) Temperatura

*E. foetida* tolera temperaturas entre 0° C y 42°C, fuera de ese rango muere. Para fines productivos lo óptimo es mantenerla entre 20°C y 25°C sobre todo si se requiere una rápida expansión de la población. Tsukamoto y Watanabe, 1977 determinaron que con temperaturas de 20 °C a 25°C ocurrió un crecimiento más rápido de formas inmaduras a adultas de *E. foetida*. Esto mismo fue confirmado por Harsterstein (1982), quien determinó de manera experimental lo siguiente: las lombrices jóvenes sometidas a temperatura de 15°C no alcanzaron su madurez sexual hasta después 80 días, en comparación con las que fueron sometidas a un rango de 20°C a 28°C, las cuales la mayor parte de ellas alcanzaron su madurez sexual a los 50 días. Este comportamiento disminuyó cuando fueron sometidas a temperaturas de 30 °C.

En época de frío la temperatura se puede controlar colocando capas de alimento de más de 15 cm, adicionando material de covertera como paja. Los riegos también van a permitir el control de temperatura, sobre todo cuando es verano. Se recomienda llevar un registro diario de temperatura al exterior e interior de los lechos, mediante termómetros con vástago metálico. Experimentalmente se ha podido comprobar que al interior del lecho la temperatura siempre va a ser menor a la temperatura ambiente como se observa en la Figura 10.3, lo que ayuda a proteger a la población de lombrices.

#### 10.2.1.3 ALIMENTACIÓN Y DEGRADACIÓN

La alimentación al sistema puede ser periódica, cada semana una nueva mezcla de alimento se coloca encima del lecho, las lombrices por sí solas suben a buscar el alimento

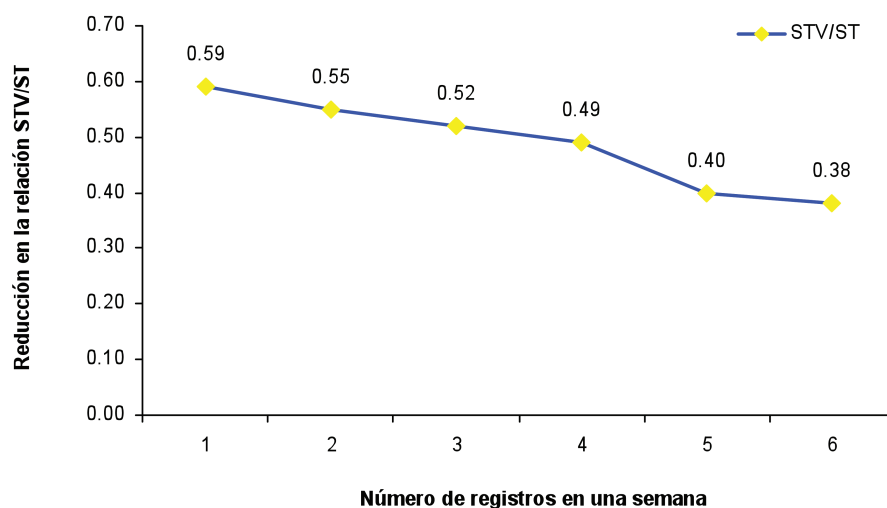


Figura 10.2. Comportamiento de la relación STV/ST

fresco. La alimentación puede ser manual o mediante un cargador frontal. Las capas de alimento que se coloquen no deben ser muy gruesas, (>30 cm). Es necesario llevar una bitácora con los registros de alimentación.

En un estudio sobre la degradación de lodo durante el vermicomposteo se midió el comportamiento de la reducción en la relación de STV/ST. En la Figura 10.2, se observa como con el bioensayo 1 se logró obtener una reducción del 35% en esta relación. La evaluación se llevó a cabo mediante el análisis durante una semana de 6 muestras y se demostró que las lombrices son capaces de degradar semanalmente una carga de alimento.

La degradación de una capa de lodo de 10 cm pueda ser semanal el sistema se puede ir alimentado por capas, las capas inferiores están formadas por el material degradado. La degradación del material orgánico se lleva a cabo mediante la simbiosis que se forma entre *Eisenia foetida* y microorganismos aeróbios. Muchos estudios se han llevado a cabo para demostrarlo, entre los cuales destacan los realizados por Dante y Haggblom, 1999, los cuales inocularon en un suelo estéril la bacteria *Ralstonia eutropha* y los cocones de *Eisenia foetida*, se demostró que los cocones tuvieron la capacidad de adquirir estas bacterias degradadoras en una concentración de  $10^4$  a  $10^5$  CFU de *R. eutropha*/cocon, por lo cual los autores de esta investigación concluyeron que los cocones de *E. foetida* tienen la capacidad de adquirir bacterias del medio ambiente en el cual se producen. La microbiota puede influenciar la sobrevivencia de los cocones expuesta a químicos tóxicos. Los cocones pueden ser usados como inoculantes de bacterias benéficas con capacidades de biodegradación.

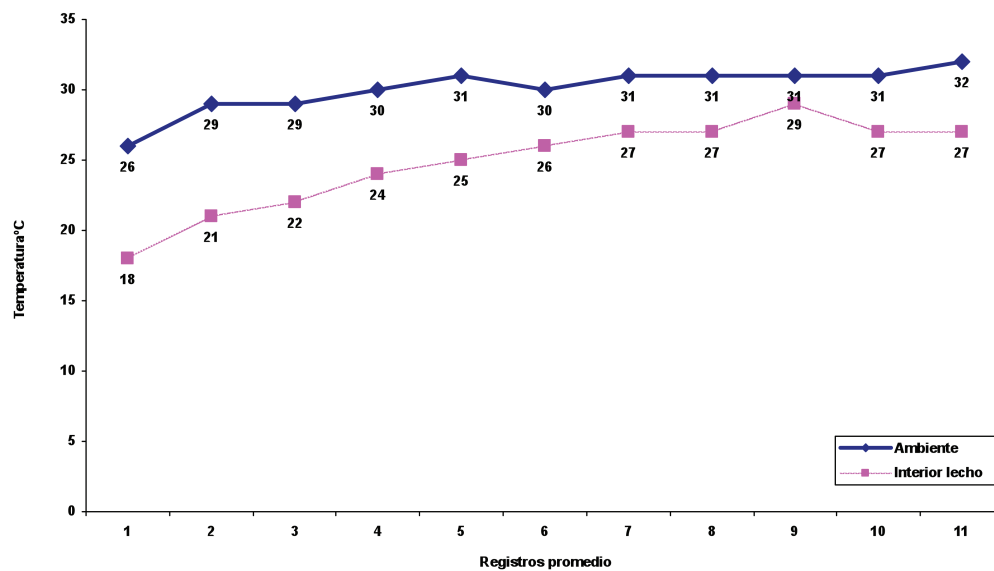


Figura 10.3 Comportamiento de temperaturas en lechos de vermicomposteo

Fuente: Cardoso *et al.*, 2007

#### 10.2.1.4 COSECHA DE LOMBRICES Y DE HUMUS

Después de un lapso de tiempo en el cual las lombrices han tenido la oportunidad de transformar todas las capas de desecho en humus se procede a recuperar la vermicomposta de la siguiente forma; se coloca una capa de residuos frescos encima del sustrato superior, las lombrices se trasladarán de las capas inferiores hasta esta nueva y de esta forma puede separarse del humus, que se encuentra en las capas inferiores. Las lombrices junto con los residuos que sirvieron de trampa se colocan en el mismo lecho o en uno nuevo (cuando se está en etapa de expansión del sistema), donde cada semana se agregará más material, continuándose así el ciclo de producción.

Algunos autores recomiendan dividir la población original por lo menos tres veces al año. Las divisiones se realizarán durante la cosecha, efectuando una primera división en marzo, otra en septiembre y una tercera en diciembre. Siendo en la primavera y verano en el que la lombriz se reproduce con mayor frecuencia.

La cosecha se puede llevar a cabo de forma manual o mediante un cargador frontal. El humus así colectado se traslada al área de secado y cribado. La preparación del humus consiste en secar el material a la intemperie hasta que se reduzca de 10 o 20% la humedad original. La vermicomposta se puede disponer formando una pila cónica y almacenar de esta forma o bien cribarla. El propósito de cribarla es obtener un producto de una granulometría más fina y homogénea, un material de esta calidad puede envasarse más fácilmente en recipientes de 1 hasta 50 kg.

### 10.2.2 TIPOS DE LOMBRICES

Las lombrices pertenecen al grupo de los Anélidos o gusanos anillados, reciben este nombre debido a que su cuerpo se encuentra constituido por metámeros o segmentos en forma de anillos, Figura 10.4. El cuerpo de estos animales es alargado, cilíndrico, con una fina cutícula, segregada por las células de la epidermis, por donde estos animales efectúan la respiración.

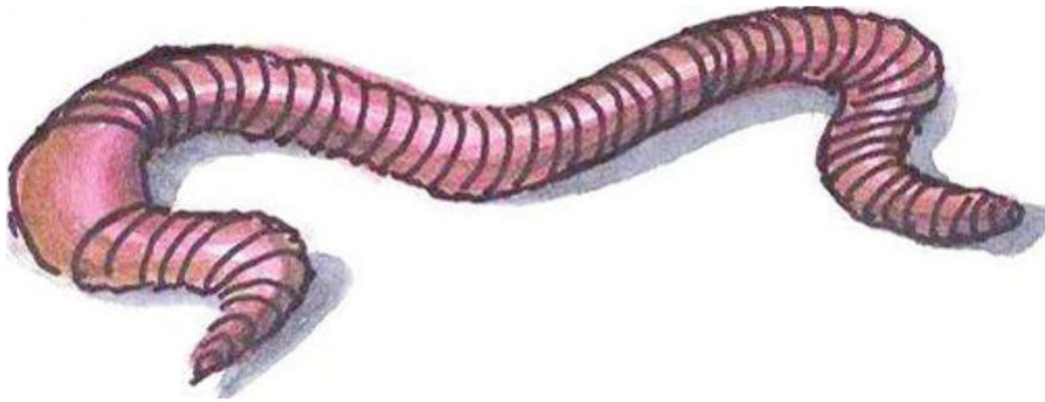


Figura 10.4. Lombriz

Dibujo: Rentería, 2002

Las lombrices se mueven por medio de movimientos ondulatorios de su cuerpo. La reproducción es sexuada; existen muchas especies hermafroditas y unisexuales; otros se reproducen de un modo asexual por escisión y por gemación.

Las especies de anélidos que se utilizan en el vermicomposteo difieren de las especies que se encuentran comúnmente en el suelo, Appelhof, 1996.

En los siguientes incisos se presentan dos diferentes tipos de lombrices:

- a) Lombrices formadoras de suelo.
- b) Lombrices composteadoras

#### 10.2.2.1 LOMBRICES FORMADORAS DE SUELO

Las especies formadoras de suelo facilitan la penetración de aire y agua. Ayudan además al transporte de materiales en los diferentes estratos, estabilizan los agregados y solubilizan los nutrientes lo que favorece el crecimiento vegetal. Las lombrices de



tierra son de una gran importancia económica, porque con su actividad cavadora de tierra, en su estado natural, participan en la fertilización, aeración y formación del suelo, por su efecto marcado sobre la estructuración del mismo, debido a la mezcla permanente y el reciclaje de bases totales, como el calcio, el cual sustraen de las capas más profundas del suelo hacia la superficie, Figura 10.5.



Figura 10.5. Lombrices formadoras de suelo

Entre las especies representativas de este grupo encontramos: *Apporrectodea*, sp., *Microscolex dubius*, *Octalasion cyaneum* y *Lumbricus terrestres*.

Las lombrices de tierra también pueden encontrarse en depósitos de lodo residual consumiéndolo, sin embargo no pueden ser cultivadas porque escapan de los recipientes, Foto 10.8.

#### 10.2.2.2 LOMBRICES COMPOSTEADORAS

Las especies composteadoras, además de realizar las actividades descritas por las lombrices formadoras de suelo, sobreviven en condiciones de alta carga orgánica de material sin estabilizar, por lo que pueden ser utilizadas para transformar residuos orgánicos en humus, Foto 10.9. Entre las especies más representativas de este grupo tenemos: *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Perionyx excavatus*, *Eudrilus eugeniae* y *Metaphire*

*californica*. En este documento se describirá a la especie *Eisenia foetida* debido a su importancia en el vermicomposteo.



Foto 10.8. Lombrices formadoras de suelo encontradas cerca de lechos de secado



Foto 10.9. Grupo de lombrices composteadoras alimentadas con lodo residual

### 10.2.3 DESCRIPCIÓN DE *EISENIA FOETIDA*

#### 10.2.3.1 TAXONOMÍA

*E. foetida* esta clasificada dentro del reino animal, Phylum Anélida en el que se consideran los gusanos que están constituidos por metámeros (anillos). Está incluida en la Clase Oligoqueta sus características son: Prostomio (lóbulo anterior a la boca) sin apéndices sensoriales, cerdas en cada segmento escasas, clitelio diferenciado y son hermafroditas.

Del orden Opistofores que se distinguen por los poros ubicados en cada segmento. La familia lombricidae que se distinguen por la ubicación del clitelio desde el segmento 18. Género *Eisenia*, especie *foetida*. En la Tabla 10.7 se presenta resumida la taxonomía de *Eisenia foetida*.

Tabla 10.7. Taxonomía de *Eisenia foetida*

Reino (planta o animal)	Animal
Phylum	Anélida (gusanos anillados o segmentados, con cuerpos redondos y alargados con cerdas o pelos)
Clase	Oligoqueta (pocos pelos, sin ojos, sin antenas)
Orden	Opistofores (un par de poros detrás de las uniones de cada segmento)
Familia	Lombricidae (clitelio hasta el segmento 18)
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>foetida</i>

FUENTE: Myers, P. 2001

La lombriz roja *E. foetida*, es una de las lombrices que más se utilizan en el vermicomposteo, vive normalmente en zonas con un clima templado. Su temperatura corporal oscila entre los 19 y 20°C. Foto 10.10. Desde el momento de su nacimiento, las lombrices son autosuficientes; comen solas y sólo necesitan para sobrevivir que el sustrato donde se encuentran sea lo suficientemente húmedo, poroso y tierno para ser perforado por su minúscula boca. Enseguida se describe su morfología, anatomía, forma de vida, reproducción y ciclo hidrológico, potencial reproductor, factores limitantes, alimentación, humedad, temperatura, pH, gases y relación carbono-nitrógeno.



Foto 10.10. Ejemplares de *Eisenia foetida* alimentadas con lodo residual

### 10.2.3.2 MORFOLOGÍA

Algunas características generales de este espécimen, Figura 10.6, son:

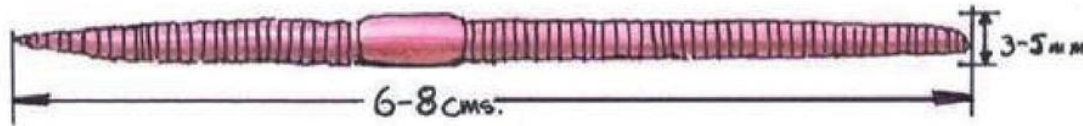


Figura 10.6. Características morfológicas

- a) Cuerpo alargado, segmentado y con simetría bilateral.
- b) Mide de 6 a 8 cm de longitud.
- c) Su diámetro oscila entre los 3 y los 5 mm.
- d) Al nacer son blancas, después de unos días cambian a un color rosado y de adultas tienen un color rojo oscuro.
- e) Respira a través de la piel.
- f) Cutícula. Es una lámina muy delgada de color marrón brillante, quitinosa, fina y transparente.
- g) Epidermis. Situada debajo de la cutícula, es un epitelio simple con células glandulares que producen una secreción mucosa. Es la responsable de la formación de la cutícula y del mantenimiento de la humedad y flexibilidad de la misma.
- h) Capas musculares. Son dos, una circular externa y otra longitudinal interna.
- i) Peritoneo. Es una capa más interna y limita exteriormente con el celoma de la lombriz.
- j) Celoma. Es una cavidad que contiene líquido celómico y se extiende a lo largo del animal, dividida por los septos, actuando como esqueleto hidrostático.
- k) Aparato circulatorio. Formado por vasos sanguíneos. Las lombrices tienen dos vasos sanguíneos, uno dorsal y otro ventral. Posee también otros vasos y capilares que llevan la sangre a todo el cuerpo.
- l) La sangre circula por un sistema cerrado constituido por cinco pares de corazones.
- m) Aparato respiratorio. Es primitivo, el intercambio de oxígeno se produce a través de la pared del cuerpo.
- n) Sistema digestivo. En la parte superior de la apertura bucal se sitúa el prostomio con forma de labio. Las células del paladar son las encargadas de seleccionar el alimento que pasa posteriormente al esófago donde se localizan las glándulas calcíferas. Estas glándulas segregan iones de calcio, contribuyendo a la regulación del equilibrio ácido básico, tendiendo a neutralizar los valores de pH. Posteriormente tenemos el buche, en el cual el alimento queda retenido para dirigirse al intestino.
- ñ) Aparato excretor. Formado por nefridios, dos para cada anillo. Las células internas son ciliadas y sus movimientos permiten retirar los desechos del celoma.



- o) Sistema nervioso. Es ganglionar. Posee un par de ganglios supraesofágicos, de los que parte una cadena ganglionar. La lombriz californiana se alimenta de animales, vegetales y minerales. Antes de comer tejidos vegetales los humedece con un líquido parecido a la secreción del páncreas humano, lo cual constituye una pre-digestión.

En cada metámero se ubican cinco pares de corazones y un par de riñones. Esta es una de las razones por las que si se parte una lombriz, una de las dos partes sobrevive, precisamente la parte anterior, la que tiene la boca. El clitelio se sitúa en la parte anterior del cuerpo aproximadamente a la altura de su primer tercio, si se considera la longitud total de la lombriz, Foto 10.11. El clitelio sólo se puede ver en las lombrices adultas, lo que indica su madurez sexual; es como un anillo de mayor diámetro (espesor) y color más claro que el resto del cuerpo. Este anillo contiene una glándula que segrega un líquido especial cuya finalidad es la de proteger a los huevos.



Foto 10.11. Clitelio y metámeros

#### 10.2.3.3 FORMA DE VIDA

La lombriz cuando es adulta pesa casi 1 g, todos los días ingiere una cantidad de comida equivalente a su peso, expidiendo, en forma de humus, el 60% de la misma. El 40% es asimilado y utilizado por la lombriz como sustento. Para comer, la lombriz chupa la comida a través de su boca. Cuando aquella llega al estómago, unas glándulas especiales se encargan de segregar carbonato cálcico, cuya finalidad es neutralizar los ácidos presentes en la comida ingerida. El sistema muscular está muy desarrollado tanto en sentido longitudinal como en sentido perimetral (circular); ello le permite a la lombriz efectuar cualquier tipo de movimiento.

La lombriz *E. foetida*, avanza como todas las demás arrastrándose sobre el sustrato, ya que su cuerpo está dotado de una serie de anillos que son capaces de adherirse (clavarse)



en el mismo. Para avanzar, la lombriz fija los anillos anteriores en el terreno, encoge el resto del cuerpo hacia la parte anterior (hacia la boca), fija entonces, hallándose encogida los anillos posteriores; a continuación libera los anillos anteriores y, empujando con la parte posterior del cuerpo la parte anterior, inicia el movimiento de avance. En esta fase es cuando abre la boca y chupa la comida. Esta última, después de atravesar todo el aparato digestivo, es expulsada por el ano, que se encuentra en la parte terminal.

#### 10.2.3.4 REPRODUCCIÓN Y CICLO BIOLÓGICO

Cada lombriz está dotada de un aparato genital masculino y de un aparato genital femenino. El aparato genital masculino está integrado por los testículos que son glándulas secretoras de espermatozoides. La cual se localiza muy cerca de la boca.

El aparato genital femenino recibe el espermatozoides y lo retiene hasta el momento de la fecundación; este aparato se encuentra en una posición relativa posterior al aparato genital masculino. Dos lombrices en fase de acoplamiento giran en sentido opuesto la una de la otra, de esta manera, puede contactar el aparato genital masculino de una con el aparato genital femenino de la otra. Así en cada acoplamiento, una lombriz recibe el espermatozoides de la otra y lo retiene en su propio aparato genital femenino hasta la fecundación.

La fecundación se efectúa a través del clitelio, cuyas glándulas producen el capullo o cápsula (cocon), Foto 10.12. La cápsula tiene un color amarillo-verdoso, con unas dimensiones aproximadas de 2-3 por 2-4 mm, no siendo por lo tanto redonda sino teniendo una forma parecida a una pera muy pequeña, redondeada por una parte y acuminada por la otra. Por esta última emergen las lombrices después de 14-21 días de incubación.

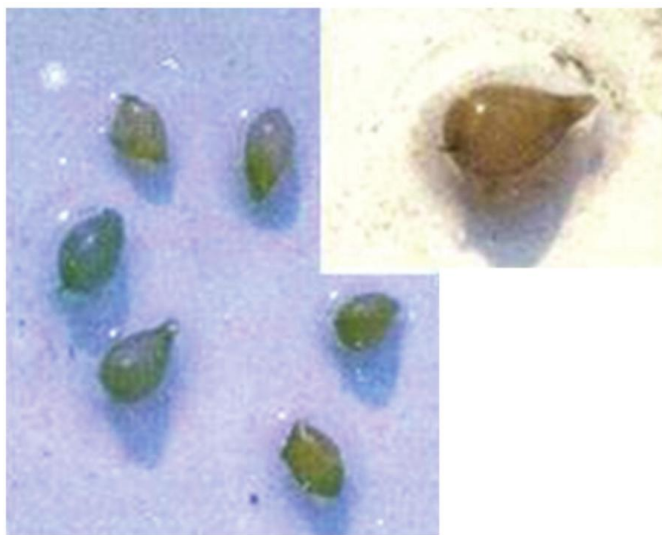


Foto 10.12. Cápsulas, cocones o capullos de *E. foetida*

En el momento del nacimiento, las crías rompen la envoltura que ha adquirido un color café más oscuro. El grupo de pequeñas lombrices, cuyo número oscila entre 2 y 21, es de color blanco. A los 5 ó 6 días se parecen fenotípicamente a sus progenitores. *E. foetida* vive poco más de 4 años en el laboratorio, algunos autores refieren hasta 16 años, un año en condiciones de producción intensiva y a la intemperie. Se reproduce más de una vez por semana. De cada acoplamiento resultan 2 cocones (uno de cada consorte) conteniendo por cocón de 2-4 lombrices (algunos autores mencionan que hasta 21 lombricitas por cocón). Los cocones son abandonados por los progenitores, permaneciendo en el medio de cultivo de las lombrices y librados a su suerte. Las lombrices se reproducen prácticamente durante todo el año, (Figura 10.7).



Figura 10.7. Ciclo biológico de *Eisenia foetida* (dieta: estiércol vacuno, conejo; temperatura: 25°C; humedad: 80%)

Las lombricitas permanecen en el cocón un tiempo variable, que depende de la temperatura reinante, siendo óptimo el desarrollo entre 20-25°C, que se corresponde con una permanencia de 14 a 44 días (o más si las temperaturas son inferiores). Se nutren dentro del cocón de las secreciones albuminoideas proporcionadas por el clitelio cuando tiene lugar la copulación. Las lombrices son de desarrollo directo (no proporcionan larvas como ocurre en otros invertebrados), naciendo del cocón pequeños animales parecidos a los padres, con los mismos hábitos alimentarios y similar dieta. Estos juveniles, son transparentes y de pocos milímetros de longitud, los cuales al cabo de 50-65 días, con tallas de 2-3 cm, alcanzan la capacidad para reproducirse a su vez, lo que se evidencia con la aparición del clitelio. Los animales siguen creciendo hasta los 6 ó 7 cm de longitud (peso: 0.8-1.4 gramos).

En una población de lombrices pueden distinguirse 4 estadios o estratos:

1° Cocones.

2° Juveniles (lombrices transparentes, o con pigmento rojo insuficiente para opacar el tubo digestivo que se observa por transparencia).

3° Animales subadultos, es decir ya bien pigmentados pero carentes de clitelio.

4° Adultos (clitelados).

El clitelio puede perderse en condiciones de malnutrición, estos animales desarrollan el clitelio nuevamente al aportar más nutrientes al medio de cultivo. Las proporciones relativas de estos segmentos poblacionales cambian muy rápidamente y se relacionan con la frecuencia de las subdivisiones en los cultivos, y por ende con el grado de apiñamiento o sobrepoblación de las lombrices en el cultivo, como se verá más adelante. El tamaño del cocón depende del diámetro de la lombriz que lo produce, pero un mayor tamaño no proporciona mayor cantidad de lombrices. La cantidad de lombrices por cocón constituye la fecundidad (lombrices por puesta). Esta cantidad de lombrices se puede multiplicar por la cantidad de puestas por año (supongamos una puesta/cocón semanal), es decir 52 (son las semanas que tiene el año). Se debe considerar la proporción de animales subadultos y adultos de la población (se suman ambos).

Este valor fluctúa mucho en la población. Si la población esta muy apiñada puede dar guarismos próximos al 80% (que en el cálculo deben expresarse como 0,80), mientras que si hubo fugas de animales (emigran principalmente subadultos y adultos) de los sectores del cultivo, la suma puede ser muy baja (menos de 20%, esto es 0.20), Tabla 10.8.

Tabla 10.8 Cálculos para determinar el potencial reproductor de *E. foetida*

Ejemplo 1.

Resultados del muestreo de un vermicultivo muy apiñado.

Porcentaje de subadultos en la muestra: 45%

Porcentaje de adultos en la muestra: 35%

La suma de ambos da 80%, o sea para el cálculo se consigna 0.80.

Suponiendo que sobre 100 animales se obtiene este valor, y la fecundidad es 2.5 lombrices/cocón, entonces  $R''$  resulta de multiplicar  $100 \times 2.5 \times 52 \times 0.80$ , es decir 10,400.

El significado del valor obtenido es que 100 lombrices en ese instante del cultivo pueden proporcionar en un año 10,400 lombrices, o lo que es lo mismo, cada lombriz potencialmente puede generar 104 lombrices (resultado de dividir 10,400 por 100).

Ejemplo 2.

Resultados del muestreo de un vermicultivo recién sembrado y con baja densidad.

Porcentaje de subadultos en la muestra: 5%

Porcentaje de adultos en la muestra: 15%

Si la suma da 20%,  $R'' = 100 \times 2.5 \times 52 \times 0.20 = 2,600$ ; es decir cada lombriz produce 26 lombrices/año.

FUENTE: Schuldt, 2002.

### 10.3 CARACTERÍSTICAS Y APROVECHAMIENTO DE LA VERMICOMPOSTA

La vermicomposta de lodo es de color oscuro, granulada, homogénea y con un olor agradable a tierra húmeda. Contiene un elevado porcentaje de materia orgánica estabilizada producto del proceso digestivo de la lombriz y de la actividad microbiana. Posee una elevada carga microbiana del orden de millones de unidades formadoras de colonias, contribuyendo así al incremento de la flora microbiana del suelo. Es un mejorador de suelos, ya que renueva las características físico-químicas del suelo, por ejemplo mejora la estructura haciéndola más permeable al agua y al aire; aumenta la retención hídrica; regula el incremento y la actividad de los nutrientes del suelo; neutraliza la presencia de contaminantes (insecticidas, herbicidas) debido a su capacidad de absorción. Evita y combate la clorosis férrica, facilita la eficacia del trabajo mecánico en el campo, aumenta la resistencia a las heladas y favorece la formación de micorrizas. La actividad residual de la vermicomposta se mantiene en el suelo hasta cinco años. Al tener un pH neutro no presenta problemas de dosificación ni de fitotoxicidad, aún en aquellos casos en que se utiliza pura. Puede almacenarse durante mucho tiempo sin que sus propiedades se vean alteradas, pero es necesario mantenerla bajo condiciones óptimas de humedad (40%). En la Tabla 10.9 se muestra la composición agronómica de la vermicomposta de lodo residual.

Tabla 10.9 Calidad agronómica de la vermicomposta

Parámetros	Valor
Humedad	70.0
Reducción STV	>38%
Materia orgánica	26.9%
Nitrógeno total	1.35%
Fósforo total	0.87%
Micronutrientes	Fe, Cu, Mn y Zn

FUENTE:Cardoso *et al.*, 2000







La seguridad en el trabajo incluye dos factores; el social que es de suma importancia y el de rentabilidad es un aspecto sumamente relevante a tener en cuenta y en mente por parte del accionista o empresario. Sin embargo, se le minimiza pensando tal vez que los riesgos de accidentes son muy pocos y que otros aspectos son prioritarios, tales como los ingresos, las ventas, la compra de materia prima, etc. La seguridad como factor de rentabilidad, aumenta la calidad del producto, mejora las condiciones de trabajo, evita riesgos innecesarios, previene accidentes y disminuye las cuotas al Seguro Social por tener un bajo índice de siniestralidad. Sin embargo, para que el empresario haga conciencia de los riesgos referentes a seguridad industrial, es necesario proporcionarle un conocimiento integral y simplificado de la problemática de la seguridad en el trabajo, con el fin de que aplique el reconocimiento, la evaluación y control de riesgos en la empresa y para mejorar la salud de la organización.

Los accidentes industriales o las condiciones de trabajo poco seguras pueden provocar enfermedades y lesiones temporales o permanentes e, incluso, causar la muerte. También ocasionan una reducción en la eficiencia y pérdida en la productividad de cada trabajador (Obregón, 2004).

El hombre siempre ha estado enfrentando riesgos de accidentes y/o enfermedades ocupacionales cuando realiza todo tipo de actividades para garantizar su supervivencia y progreso. Así, estos riesgos son un elemento que permanece presente o latente en la realización de cualquier trabajo. Ahora bien, la presencia de estos riesgos ha hecho necesario la inclusión de algunas disciplinas que planteen una serie de estrategias para la prevención de accidentes y enfermedades, tales como la Seguridad Industrial e Higiene Ocupacional.

Se define a la Seguridad Industrial como: Conjunto de principios, criterios y normas cuyo objetivo fundamental es el de controlar el riesgo de accidentes que pudieran derivar en lesiones a las personas, daños a las propiedades y equipos que intervienen en el desarrollo de toda actividad productiva. Y a la Higiene Ocupacional como: Ciencia dedicada al conocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales,

tensiones producidas o provocadas por o con motivo del trabajo, y que pueden ocasionar enfermedades, afectar a la salud o crear algún malestar significativo entre los trabajadores o ciudadanos de una comunidad (Gonzalez, 2005).

La seguridad Industrial y la Higiene Ocupacional nacen como la respuesta al elevado precio con que se paga el resultado de los accidentes de trabajo y las enfermedades ocupacionales.

### *11.1 OBJETIVOS DE LA SEGURIDAD INDUSTRIAL*

- a) Evitar la lesión y muerte por accidente. Cuando ocurren accidentes hay una pérdida de potencial humano y con ello una disminución de la productividad.
- b) Reducción de los costos operativos de producción. De esta manera se incide en la minimización de costos y la maximización de beneficios.
- c) Mejorar la imagen de la empresa y, por ende, la seguridad del trabajador para un mayor rendimiento en el trabajo.
- d) Contar con un sistema estadístico que permita detectar el avance o disminución de los accidentes, y sus causas.
- e) Contar con los medios necesarios para desarrollar un programa y un plan de seguridad industrial que permita a la empresa desarrollar las medidas básicas de seguridad e higiene, contar con sus propios índices de frecuencia y de gravedad, determinar los costos e inversiones que se deriven de lo anterior.

Entonces se puede observar que estos objetivos están encaminados a prevenir, minimizar o evitar un accidente, ¿pero que se entiende por accidente?, algunas definiciones citan:

- a) Suceso eventual o acción de que involuntariamente resulta daño para las personas o las cosas (Real Academia Española, 1999).
- b) Cualquier acontecimiento inesperado que al ocurrir afecta la ejecución de un trabajo (Gonzalez, 2005).
- c) Suceso no deseado que ocasiona pérdidas a las personas, a la propiedad o a los procesos laborales (Obregón, 2004).

La amplitud de los términos de esta definición obliga a tener presente que los diferentes tipos de accidentes se hallan condicionados por múltiples fenómenos de carácter imprevisible e incontrolable.

### *11.2 CAUSAS BÁSICAS Y CAUSAS INMEDIATAS*

No deben confundirse las causas básicas con las causas inmediatas. Por ejemplo, la causa inmediata de un accidente puede ser la falta de una prenda de protección, pero la causa

básica puede ser que la prenda de protección no se utilice porque resulta incómoda. Supongamos que a un tornero se le ha clavado una viruta en un ojo. Investigado el caso se comprueba que no llevaba puestas las gafas de seguridad. La causa inmediata es la ausencia de protección individual, pero la causa básica está por descubrir y es fundamental investigar por qué no llevaba puestas las gafas.

Podría ser por tratar de ganar tiempo, porque no estaba especificado que en aquel trabajo se utilizaran gafas (falta de [normas de trabajo]), porque las gafas fueran incómodas, etc.

Es pues imprescindible tratar de localizar y eliminar las causas básicas de los accidentes, porque si sólo se actúa sobre las causas inmediatas los accidentes volverán a producirse.

### **11.2.1 CAUSAS BÁSICAS**

Las causas básicas pueden dividirse en factores personales y factores del trabajo. Las más comunes son:

#### **11.2.1.1 FACTORES PERSONALES**

- a) Falta de conocimiento o de capacidad para desarrollar el trabajo que se tiene encomendado.
- b) Falta de motivación o motivación inadecuada.
- c) Tratar de ahorrar tiempo o esfuerzo y/o evitar incomodidades.
- d) Lograr la atención de los demás, expresar hostilidades.
- e) Existencia de problemas o defectos físicos o mentales.

#### **11.2.1.2 FACTORES DE TRABAJO**

- a) Falta de normas de trabajo o normas inadecuadas.
- b) Diseño o mantenimiento inadecuado de las máquinas y equipos.
- c) Hábitos de trabajo incorrectos.
- d) Uso y desgaste normal de equipos y herramientas.
- e) Uso anormal e incorrecto de equipos, herramientas e instalaciones.

### **11.2.2 CAUSAS INMEDIATAS**

Las causas inmediatas pueden dividirse en actos inseguros y condiciones inseguras. Veamos algunos ejemplos de los más comunes:

#### 11.2.2.1 ACTOS INSEGUROS

- a) Realizar trabajos para los que no se está debidamente autorizado.
- b) Trabajar en condiciones inseguras o a velocidades excesivas.
- c) No dar aviso de las condiciones de peligro que se observen, o no señalizadas.
- d) No utilizar, o anular, los dispositivos de seguridad con que va equipadas las máquinas o instalaciones.
- e) Utilizar herramientas o equipos defectuosos o en mal estado.
- f) No usar las prendas de protección individual establecidas o usar prendas inadecuadas.
- g) Gastar bromas durante el trabajo.
- h) Reparar máquinas o instalaciones de forma provisional.
- i) Realizar reparaciones para las que no se está autorizado.
- j) Adoptar posturas incorrectas durante el trabajo, sobre todo cuando se manejan cargas a brazo.
- k) Usar ropa de trabajo inadecuada (con cinturones o partes colgantes o desgarrones, demasiado holgada, con manchas de grasa, etc.).
- l) Usar anillos, pulseras, collares, medallas, etc. cuando se trabaja con máquinas con elementos móviles (riesgo de atrapamiento).
- m) Utilizar cables, cadenas, cuerdas, eslingas y aparejos de elevación, en mal estado de conservación.
- n) Sobrepasar la capacidad de carga de los aparatos elevadores o de los vehículos industriales.
- ñ) Colocarse debajo de cargas suspendidas.
- o) Introducirse en fosos, cubas o espacios cerrados, sin tomar las debidas precauciones.
- p) Transportar personas en los carros o carretillas industriales.

#### 11.2.2.2 CONDICIONES INSEGURAS

- a) Falta de protecciones y resguardos en las máquinas e instalaciones.
- b) Protecciones y resguardos inadecuados.
- c) Falta de sistema de aviso, de alarma, o de llamada de atención.
- d) Falta de orden y limpieza en los lugares de trabajo.
- e) Escasez de espacio para trabajar y almacenar materiales.
- f) Almacenamiento incorrecto de materiales, apilamientos desordenados, bultos depositados en los pasillos, amontonamientos que obstruyen las salidas de emergencia, etc.
- g) Niveles de ruido excesivos.
- h) Iluminación inadecuada (falta de luz, lámparas que deslumbran)
- i) Falta de señalización de puntos o zonas de peligro.
- j) Existencia de materiales combustibles o inflamables, cerca de focos de calor.
- k) Huecos, pozos, zanjas, sin proteger ni señalizar, que presentan riesgo de caída.

- l) Pisos en mal estado; irregulares, resbaladizos, desconchados.
- n) Falta de barandillas y rodapiés en las plataformas y andamios.

### *11.3 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LOS ACCIDENTES (CORTÉS DÍAZ, 2002)*

#### **11.3.1** *AMBIENTE FÍSICO*

Son factores ambientales que pueden dañar la salud física y orgánica del trabajador, comprenden:

- a) Factores mecánicos: elementos móviles, cortantes, punzantes, etc., de las máquinas, herramientas, manipulación, transporte de cargas, entre otros.
- b) Factores físicos: ruidos, iluminación, vibraciones, temperatura, presión atmosférica, radiaciones ionizantes y no ionizantes.
- c) Factores químicos: contaminantes sólidos, líquidos y gases presentes en el aire, así como polvos, humos, neblinas, aerosoles y vapores.
- d) Factores biológicos: bacterias, virus, parásitos y hongos.

#### **11.3.2** *AMBIENTE PSICOLÓGICO*

Es consecuencia, fundamentalmente, de factores debidos a los nuevos sistemas de organización del trabajo derivados del desarrollo tecnológico (monotonía, automatización, carga mental, etc.), que crea en el trabajador problemas de inadaptación, insatisfacción, desmotivación y estrés.

#### **11.3.3** *AMBIENTE SOCIAL*

Consecuencia de las relaciones sociales externas a la empresa afectada cada vez más por problemas generacionales, cambio de esquemas de valores, políticos, morales y económicos, etc. O bien, internos a la empresa, sistemas de mando, política de salarios, sistemas de promoción y ascensos, organizativos, etc.

### *11.4 PROGRAMAS*

Para evitar los accidentes y controlar los riesgos de trabajo se deben establecer programas de higiene y seguridad. La mayor parte de estos programas para plantas de tratamiento de aguas residuales contienen tres elementos:

- a) Políticas por escrito de higiene y seguridad
- b) Comités de higiene y seguridad
- c) Capacitación en higiene y seguridad



Un buen programa proporcionará primeros auxilios y servicios médicos, además de un manual con información sobre prevención de accidentes y lesiones.

La principal función del Comité de Higiene y Seguridad es la promoción del programa. Algunas otras actividades son:

- a) Realizar inspecciones
- b) Proporcionar y sugerir capacitación
- c) Conducir investigaciones de accidentes y lesiones
- d) Desarrollo del manual de higiene y seguridad

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes y enfermedades, un programa de capacitación incluirá:

- a) Peligros en las plantas de aguas residuales
- b) Higiene y salud industrial para el personal
- c) Equipos de protección, incluyendo protección respiratoria
- d) Manejo y almacenamiento de materiales
- e) Uso seguro de herramientas y equipos
- f) Protección y control de incendios
- g) Primeros auxilios, incluyendo respiración artificial
- h) Mantenimiento industrial
- i) Reporte de accidentes y enfermedades
- j) Investigación de accidentes y enfermedades
- k) Seguridad en instalaciones eléctricas
- l) Procedimientos de entrada a espacios confinados y rescate
- m) Planeación de emergencias

## 11.5 MEDIDAS DE HIGIENE

Los trabajadores relacionados con el manejo de aguas residuales y lodos generados en los procesos de tratamiento, están expuestos al contacto con microorganismos, por lo que su riesgo de contraer enfermedades infecciosas es alto; las siguientes enfermedades son comunes para quienes trabajan en plantas de tratamiento:

- a) Hepatitis A infecciosa
- b) Infecciones virales
- c) Infestación de parásitos
- d) Enfermedades gastrointestinales
- e) Anormalidades en fosas nasales, oídos y piel por infecciones

La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas

de higiene personal. A continuación se dan algunas recomendaciones para personas que trabajan cerca de aguas residuales o lodos.

- a) Mantener manos y dedos lejos de la nariz, boca, ojos y oídos.
- b) Usar guantes de hule cuando se limpian bombas o equipos, se maneje agua residual, rejillas, lodos o arena, u otras tareas que involucren contacto directo con las aguas residuales o lodos.
- c) Usar guantes siempre que se tenga una lesión en las manos, como quemadura, cortada, raspón, etc. para evitar el contacto directo de microorganismos con el torrente sanguíneo.
- d) Lavarse las manos con jabón, preferentemente con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos.
- e) Mantener las uñas cortas y remover los materiales extraños que se introduzcan en las mismas.
- f) Se recomienda el uso de dos gavetas por trabajador; una para guardar ropa de calle y limpia y para la ropa de trabajo.
- g) Informar cualquier lesión por pequeña que sea incluyendo raspones para que se apliquen los primeros auxilios.
- h) Bañarse al finalizar su turno de trabajo.

Para asegurar la máxima protección a la salud, los empleados deben recibir vacunación contra:

- a) Hepatitis A
- b) Hepatitis B
- c) Influenza
- d) Sarampión
- e) Paperas
- f) Neumonía
- g) Rubéola
- h) Tétanos y difteria

## 11.6 SUSTANCIAS PELIGROSAS

Se requiere desarrollar un programa de identificación manejo y control de sustancias peligrosas como son los productos químicos. Se debe conocer su peligro potencial y su manejo adecuado para tomar las precauciones necesarias.

Las prácticas recomendadas para los trabajadores que manejan este tipo de sustancias, a fin de salvaguardar su integridad física son:

- a) Uso de equipos de protección.

- b) Procedimientos adecuados en el mantenimiento y almacenamiento de sustancias peligrosas.
- c) Uso de aspiradoras y equipos de limpieza para el área de almacenamiento y lugares de trabajo.
- d) Áreas prohibidas para fumar en lugares donde se manejen sustancias inflamables y explosivas.
- e) Separación de áreas de baños y comedores, de áreas de almacenamiento.
- f) Uso de etiquetas en los recipientes que incluyan información de su manejo, y primeros auxilios.
- g) Colocación de señales de precaución y alerta para los trabajadores.
- h) Carteles con instrucciones de emergencia en lugares críticos.
- i) Acciones para emergencias, como incendios, derrames y fugas, acompañadas de instrucciones para primeros auxilios.
- j) Capacitación para uso y manejo de sustancias peligrosas.

## 11.7 ESPACIOS CONFINADOS

Un espacio confinado es un área accesible, con cualquiera de las siguientes características: accesos limitados para entrar y salir; ventilación natural desfavorable; espacio escaso para trabajadores. La mayor parte de las muertes, lesiones y enfermedades se presentan en espacios confinados y por exposiciones a gases tóxicos o deficiencias de oxígeno en la atmósfera.

Los peligros que puede tener un trabajador en espacios confinados son:

- a) Deficiencia de oxígeno en la atmósfera
- b) Atmósfera inflamable
- c) Atmósfera tóxica
- d) Temperaturas extremas
- e) Derrumbe de materiales
- f) Ruidos amplificadas
- g) Resbalones por pisos húmedos
- h) Caída de objetos

Las precauciones que se deben observar en estos espacios incluyen:

- a) Pruebas y monitoreo de los gases en la atmósfera del espacio confinado
- b) Ventilación continua general o local con ventiladores manuales
- c) Equipos de protección personal, principalmente para respiración
- d) Señales y etiquetas de precaución y de peligro
- e) Capacitación del personal que trabaja en espacios confinados
- f) Revisión médica periódica

- g) Autorizaciones para entrar a espacios confinados
- h) Aislamiento de espacios confinados
- i) Personal capacitado en diferentes partes de la planta
- j) Procedimientos por escrito para trabajar, y poder realizar actividades de rescate
- k) Equipos de respiración disponibles

## 11.8 MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Deben ser consideradas desde el diseño de las instalaciones; en forma resumida las más importantes son:

- a) Cercado de la planta de tratamiento o de unidades donde el público no debe tener acceso.
- b) Facilidades de estacionamiento y andadores que lleven a las oficinas de la planta.
- c) Áreas de almacenamiento fuera del alcance de personal extraño.
- d) Iluminación adecuada al trabajo que se desarrolle.
- e) Ventilación para prevenir ambientes explosivos.
- f) Protección contra incendios tanto de oficinas como de almacenes, sala de sopladores, sala de cloración, etc.
- g) Agua potable suficiente para las actividades normales de la planta, incluyendo abastecimiento a laboratorios, baños, regaderas, etc.
- h) Cercas de protección y señales de alerta en instalaciones eléctricas.
- i) Implantación de medidas de seguridad en el laboratorio.
- j) Se hará mención de algunas actividades que se consideran peligrosas, para las cuales deben seguirse procedimientos establecidos para que puedan llevarse a cabo.
- k) Trabajos bajo la superficie, en alcantarillados, registros, estaciones de bombeo, desarenadores, túneles, trincheras, tanques, etc.
- l) Levantar objetos que por su forma, tamaño, peso, etc, pueden causar lesiones en la espalda, o accidentes.
- m) Uso de escaleras; las caídas en ellas son una de las principales causas de lesiones.
- n) Trabajos en áreas de producción y manejo de instalaciones de gas.

## 11.9 FUNDAMENTOS LEGALES DE LA SEGURIDAD INDUSTRIAL

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el Artículo 123 establece que toda persona tiene derecho al trabajo digno y socialmente útil, y que se promoverán la creación de empleos y la organización para el empleo. En las siguientes fracciones, de dicho artículo, se mencionan las obligaciones que tiene el patrón en relación a la seguridad de sus trabajadores:

**XIII.** La empresa está obligada a dar a sus trabajadores la capacitación y adiestramiento

para el trabajo.

**XIV.** La empresa es responsable de los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales sufridas por un trabajador en el ejercicio de su trabajo.

**XV.** El patrón está obligado a observar los preceptos legales sobre higiene y seguridad en sus instalaciones y adoptar medidas para prevenir los accidentes en el uso de las máquinas, instrumentos y materiales de trabajo, así como a organizar de tal manera éste, que resulte la mayor garantía para la salud y la vida de los trabajadores, y del producto de la concepción, cuando se trate de mujeres embarazadas. Las leyes contendrán al efecto, las sanciones procedentes en cada caso.

El reglamento general de seguridad e higiene en el trabajo, título primero, capítulo único, en disposiciones generales contempla lo siguiente:

**Artículo 1.** Este reglamento rige en todo el territorio nacional y tiene por objeto prever en la esfera administrativa a la observancia de la Ley Federal del Trabajo. En materia de seguridad e higiene disminuir los accidentes y enfermedades que se producen u originan en los centros de trabajo.

**Artículo 2.** La aplicación de este reglamento corresponde a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Las autoridades federales coordinarán sus acciones en materia de seguridad e higiene con las autoridades de los estados y del departamento del distrito federal, en la forma y términos, que el mismo establece. La aplicación de este reglamento se hará coordinadamente con la secretaría de salubridad y asistencia de acuerdo a las facultades que sobre higiene ocupacional otorgan a esta última las leyes en vigor.

**Artículo 5.** La Secretaría del Trabajo y Previsión Social queda facultada para expedir, con base a este reglamento, los instructivos que considere necesarios para desarrollar, hacer explícitas y determinar la forma en que deben cumplirse las disposiciones. En la expedición de los instructivos de que se trata, así como la de manuales y circulares, se tomará en cuenta lo dispuesto y para su obligatoriedad y general observancia, los instructivos que la secretaría del trabajo y previsión social expida, deberán ser publicados en el "Diario Oficial" de la Federación.

**Artículo 6.** Para los efectos de este ordenamiento se considera como centro de trabajo a todo aquel establecimiento, cualquiera que sea su denominación, en el que se realicen actividades de producción de bienes o de prestación de servicios y en los cuales participen personas que sean sujetas de una relación de trabajo. Así mismo, se consideran como centros de trabajo, los establecimientos de producción de bienes y servicios pertenecientes a sociedades cooperativas y demás formas de organización social.

**Artículo 7.** Los patrones o sus representantes, los sindicatos titulares de los contratos



colectivos, los trabajadores de la seguridad, los supervisores de la seguridad y los médicos de las empresas, en su caso, están obligados a cuidar de la estricta observancia de este reglamento en sus respectivos centros de trabajo.

**Artículo 8.** La Secretaría del Trabajo y Previsión Social y las autoridades competentes de los estados y del Distrito Federal, llevarán a cabo los estudios e investigaciones en los lugares de trabajo y los exámenes que estimen convenientes a los trabajadores, utilizando los equipos necesarios y los medios que la ciencia y la tecnología emplean para identificar y valorar las posibles causas de accidentes y enfermedades de trabajo, y para determinar las alteraciones de la salud en los trabajadores, a fin de promover que mediante la expedición de las disposiciones correspondientes se establezcan medidas de seguridad e higiene ocupacional.

En el artículo decimoprimer del mismo reglamento referente a la organización de la seguridad e higiene en el trabajo, en el capítulo I: Disposiciones generales establece lo siguiente:

**Artículo 188.** La responsabilidad de la seguridad y la higiene en el trabajo corresponde tanto a las autoridades como a los trabajadores y patrones, en los términos que establecen las disposiciones legales.

**Artículo 189.** Las autoridades del trabajo elaborarán y pondrán en práctica programas tendientes a orientar a los patrones y trabajadores respecto a la importancia que tiene la adopción de medidas preventivas adecuadas para evitar riesgos en los centros de trabajo.

**Artículo 190.** Las autoridades del trabajo promoverán estudios e investigaciones técnicas y estadísticas en materia de la prevención de riesgos de trabajo y facilitarán la difusión de sus resultados. Las organizaciones obreras y empresariales coadyuvarán con las citadas autoridades en el desarrollo de los programas a que se refiere el artículo anterior.

**Artículo 191.** La Secretaría del Trabajo y Previsión Social establecerá la coordinación necesaria con el Instituto Mexicano del Seguro Social para la elaboración de Programas y el desarrollo de campañas tendientes a prevenir accidentes y enfermedades de trabajo.

En la Ley Federal de Trabajo en el título noveno se refiere a riesgos de trabajo, como son accidentes y enfermedades, a que están expuestos los trabajadores en ejercicio o con motivo del trabajo.

Las disposiciones en el título noveno se aplican a todas las relaciones de trabajo, incluidos los trabajadores especiales, con la limitación consignada en el artículo 352 de la Ley Federal del Trabajo.

En el estudio de la seguridad industrial existen normas oficiales mexicanas sobre seguridad

e higiene, las cuales establecen los requerimientos que se deben cumplir legalmente para proporcionar lugares, espacios, instalaciones, maquinaria, paredes, pisos, rampas, escaleras, pasadizos, vías, plataformas elevadas, etc. adecuadas al tipo de actividad que en los centros de trabajo se desarrolle y tendrán las características dimensionales, de acuerdo con lo que dispongan los instructivos correspondientes.

A continuación se presentan algunas normas establecidas por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social y algunos puntos de relevancia.

### **Norma Oficial Mexicana NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-condiciones de seguridad.**

#### **Objetivo**

Establecer las condiciones de seguridad de los edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de Trabajo para su adecuado funcionamiento y conservación, con la finalidad de prevenir riesgos a los trabajadores.

Los puntos de interés son:

#### **7. Requisitos de seguridad en el centro de trabajo.**

##### **7.1 Disposiciones generales.**

7.1.1 Contar con orden y limpieza permanentes en las áreas de trabajo, así como en pasillos exteriores a los edificios, estacionamientos y otras áreas comunes del centro de trabajo, de acuerdo al tipo de actividades que se desarrollen.

7.1.2 Las áreas de producción, de mantenimiento, de circulación de personas y vehículos, las zonas de riesgo, de almacenamiento y de servicios para los trabajadores del centro de trabajo, se deben delimitar de tal manera que se disponga de espacios seguros para la realización de las actividades de los trabajadores que en ellas se encuentran. Tal delimitación puede realizarse con barandales; con cualquier elemento estructural; con franjas amarillas de al menos 5 cm de ancho, pintadas o adheridas al piso, o por una distancia de separación física.

7.1.3 Cuando laboren trabajadores discapacitados en los centros de trabajo, las puertas, vías de acceso y de circulación, escaleras, lugares de servicio y puestos de trabajo, deben facilitar sus actividades y desplazamientos.

7.1.4 Las escaleras, rampas, escaleras manuales, puentes y plataformas elevadas deben, además de cumplir con lo que se indica en la presente Norma, mantenerse en condiciones tales que eviten que el trabajador resbale al usarlas.

7.1.5 Los elementos estructurales tales como pisos, puentes o plataformas, entre otros,

destinados a soportar cargas fijas o móviles, deben ser utilizados para los fines a que fueron destinados. En caso de requerir un cambio de uso, se debe evaluar si los elementos estructurales tienen la capacidad de soportar las nuevas cargas y, en su caso, hacer las adecuaciones necesarias para evitar riesgos de trabajo.

7.1.6 Los edificios y elementos estructurales deben soportar las cargas fijas o móviles de acuerdo a la naturaleza de las actividades que en ellos se desarrollen, de tal manera que su resistencia evite posibles fallas estructurales y riesgos de impacto, para lo cual deben considerarse las condiciones normales de operación y los eventos tanto naturales como incidentales que puedan afectarlos.

## **Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2000, Condiciones de seguridad –prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo.**

### **Objetivo**

Establecer las condiciones mínimas de seguridad que deben existir, para la protección de los trabajadores y la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.

Los puntos de interés son:

### **9. Requisitos de seguridad.**

#### ***9.1 De las salidas normales y de emergencia.***

9.1.1 La distancia a recorrer desde el punto más alejado del interior de una edificación, a un área de salida, no debe ser mayor de 40 metros.

9.1.1.1 En caso de que la distancia sea mayor a la señalada en el apartado anterior, el tiempo máximo en que debe evacuarse al personal a un lugar seguro, es de tres minutos. Lo anterior, debe comprobarse en los registros de los simulacros de evacuación.

9.1.2 Los elevadores no deben ser considerados parte de una ruta de evacuación y no se deben usar en caso de incendio.

9.1.3 Las puertas de las salidas normales de la ruta de evacuación y de las salidas de emergencia deben:

- a) abrirse en el sentido de la salida, y contar con un mecanismo que las cierre y otro que permita abrirlas desde adentro mediante una operación simple de empuje;
- b) estar libres de obstáculos, candados, picaportes o de cerraduras con seguros

- puestos, durante las horas laborales;
- c) comunicar a un descanso, en caso de acceder a una escalera;
- d) ser de materiales resistentes al fuego y capaces de impedir el paso del humo entre áreas de trabajo;
- e) estar identificadas conforme a lo establecido en la NOM-026-STPS-1998.

9.1.4 Los pasillos, corredores, rampas y escaleras que sean parte del área de salida deben cumplir con lo siguiente:

- a) ser de materiales ignífugos y, si tienen acabados, éstos deben ser de materiales resistentes al fuego;
- b) estar libres de obstáculos que impidan el tránsito de los trabajadores;
- c) identificarse con señales visibles en todo momento, que indiquen la dirección de la ruta de evacuación, de acuerdo a lo establecido en la NOM-026-STPS-1998.

## **9.2 Del equipo contra incendio.**

9.2.1 Los extintores deben recibir, cuando menos una vez al año, mantenimiento preventivo, a fin de que se encuentren permanentemente en condiciones seguras de funcionamiento, de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 11.

9.2.2 Los equipos contra incendio se clasifican:

a) por su tipo en:

- 1) portátiles;
- 2) móviles;
- 3) fijos, que pueden ser manuales, semiautomáticos o automáticos.

b) por el agente extinguidor que contienen.

9.2.3 En la instalación de los extintores se debe cumplir con lo siguiente:

- a) colocarse en lugares visibles, de fácil acceso y libres de obstáculos, de tal forma que el recorrido hacia el extintor más cercano, tomando en cuenta las vueltas y rodeos necesarios para llegar a uno de ellos, no exceda de 15 metros desde cualquier lugar ocupado en el centro de trabajo;
- b) fijarse entre una altura del piso no menor de 10 cm, medidos del suelo a la parte más baja del extintor y una altura máxima de 1.50 m, medidos del piso a la parte más alta del extintor;
- c) colocarse en sitios donde la temperatura no exceda de 50 °C y no sea menor de -5 °C
- d) estar protegidos de la intemperie;
- e) señalar su ubicación de acuerdo a lo establecido en la NOM-026-STPS-1998;
- f) estar en posición para ser usados rápidamente;

- g) los sistemas automáticos deben contar con un control manual para iniciar el funcionamiento del sistema, en caso de falla;
- h) las mangueras del equipo fijo contra incendio pueden estar en un gabinete cubierto por un cristal de hasta 4 mm de espesor, y que cuente en su exterior con una herramienta, dispositivo o mecanismo de fácil apertura que permita romperlo o abrirlo y acceder fácilmente a su operación en caso de emergencia.

**NOM-004-STPS-1999 F. P. 31/05/99 Relativa a los sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria, y equipo que se utilice en los centros de trabajo.**

## **Objetivo**

Establecer las condiciones de seguridad y los sistemas de protección y dispositivos para prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de trabajo que genere la operación y mantenimiento de la maquinaria y equipo.

Los puntos de interés son:

## **7. Programa específico de Seguridad para la Operación y Mantenimiento de la Maquinaria y Equipo**

### ***7.1 Operación de la maquinaria y equipo.***

El programa debe contener procedimientos para que:

- a) los protectores y dispositivos de seguridad se instalen en el lugar requerido y se utilicen durante la operación;
- b) se mantenga limpia y ordenada el área de trabajo;
- c) la maquinaria y equipo estén ajustados para prevenir un riesgo;
- d) las conexiones de la maquinaria y equipo y sus contactos eléctricos estén protegidos y no sean un factor de riesgo;
- e) el cambio y uso de la herramienta y el herramental se realice en forma segura;
- f) el desarrollo de las actividades de operación se efectúe en forma segura;
- g) el sistema de alimentación y retiro de la materia prima, subproducto y producto terminado no sean un factor de riesgo.

## **8. Protectores y dispositivos de seguridad**

### ***8.1 Protectores de seguridad en la maquinaria y equipo.***

Los protectores son elementos que cubren a la maquinaria y equipo para evitar el acceso al punto de operación y evitar un riesgo al trabajador.

8.1.1 Se debe verificar que los protectores cumplan con las siguientes condiciones:



- a) proporcionar una protección total al trabajador;
- b) permitir los ajustes necesarios en el punto de operación;
- c) permitir el movimiento libre del trabajador;
- d) impedir el acceso a la zona de riesgo a los trabajadores no autorizados;
- e) evitar que interfieran con la operación de la maquinaria y equipo;
- f) no ser un factor de riesgo por sí mismos;
- g) permitir la visibilidad necesaria para efectuar la operación;
- h) señalarse cuando su funcionamiento no sea evidente por sí mismo, de acuerdo a lo establecido en la NOM-026-STPS-1998;
- i) de ser posible estar integrados a la maquinaria y equipo;
- j) estar fijos y ser resistentes para hacer su función segura;
- k) no obstaculizar el desalojo del material de desperdicio.

## ***8.2 Dispositivos de seguridad.***

Son elementos que se deben instalar para impedir el desarrollo de una fase peligrosa en cuanto se detecta dentro de la zona de riesgo de la maquinaria y equipo, la presencia de un trabajador o parte de su cuerpo.

8.2.1 La maquinaria y equipo deben estar provistos de dispositivos de seguridad para paro de urgencia de fácil activación.

8.2.2 La maquinaria y equipo deben contar con dispositivos de seguridad para que las fallas de energía no generen condiciones de riesgo.

8.2.3 Se debe garantizar que los dispositivos de seguridad cumplan con las siguientes condiciones:

- a) ser accesibles al operador;
- b) cuando su funcionamiento no sea evidente se debe señalar que existe un dispositivo de seguridad, de acuerdo a lo establecido en la NOM-026-STPS-1998;
- c) proporcionar una protección total al trabajador;
- d) estar integrados a la maquinaria y equipo;
- e) facilitar su mantenimiento, conservación y limpieza general;
- f) estar protegidos contra una operación involuntaria;
- g) el dispositivo debe prever que una falla en el sistema no evite su propio funcionamiento y que a su vez evite la iniciación del ciclo hasta que la falla sea corregida;
- h) cuando el trabajador requiera alimentar o retirar materiales del punto de operación manualmente y esto represente un riesgo, debe usar un dispositivo de mando bimanual, un dispositivo asociado a un protector o un dispositivo sensitivo.

**Norma Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.**

**Objetivo**

Establecer las condiciones de seguridad e higiene para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias

Los puntos de interés son:

9.1 En base al estudio para analizar el riesgo potencial, se deben colocar las señales, avisos, colores e identificación de fluidos conducidos en tuberías conforme a lo establecido en las NOM-026-STPS-1993, NOM-027-STPS-1993 y NOM-028-STPS-1993.

9.2 El llenado de los recipientes que contengan sustancias químicas peligrosas en estado líquido a presión atmosférica, debe hacerse máximo hasta el noventa por ciento de su capacidad, para lo cual se debe contar con un dispositivo de lectura del nivel de llenado.

9.3 Los recipientes fijos de almacenamiento de sustancias químicas peligrosas deben contar con cimentaciones a prueba de fuego.

9.4 Las tuberías y recipientes fijos que contengan sustancias químicas peligrosas deben contar con sistemas que permitan interrumpir el flujo de dichas sustancias.

9.5 Se debe contar con zonas específicas para el almacenamiento de las sustancias químicas peligrosas.

9.6 Se deben identificar los recipientes que contengan sustancias químicas peligrosas conforme a lo establecido en la NOM-114-STPS-1994.

9.7 Los recipientes con sustancias químicas peligrosas deben permanecer cerrados mientras no estén en uso.

9.8 Para trabajos en espacios confinados, se debe cumplir con lo siguiente:

- a) Elaborar el procedimiento de autorización conforme a lo establecido en el apartado 7.2;
- b) Llevar a cabo el bloqueo de energía, maquinaria y equipo relacionado con el espacio confinado donde se hará el trabajo, y colocar tarjetas de seguridad que indiquen la prohibición de usarlos mientras se lleva a cabo el trabajo;
- c) Se debe monitorear constantemente el interior para verificar que la atmósfera cumpla con las condiciones siguientes:

1. que el contenido de oxígeno esté entre 19.5% y 23.5%; en caso contrario se deben tomar las medidas pertinentes, tanto para el uso de equipo de protección respiratoria con suministro de aire, como para la realización de actividades en atmósferas no respirables;
2. la concentración de gases o vapores inflamables no debe ser superior en ningún momento al 20% del valor del límite inferior de inflamabilidad; ejemplo: el ácido fórmico tiene un límite inferior de inflamabilidad de 18 en una relación volumen/volumen, por lo que 3.6 es el valor que no debe ser superado.
3. la concentración de sustancias químicas peligrosas no debe exceder los límites máximos permisibles de exposición establecidos en la NOM-010-STPS-1993, de lo contrario se deben aplicar las medidas de control establecidas en esa norma;
4. las lámparas que se utilicen para iluminar un espacio confinado, deben ser de uso rudo, a prueba de explosión.

d) Siempre que el trabajador ingrese a realizar labores en un espacio confinado, deberá ser estrechamente vigilado por el responsable del área o por una persona capacitada para esta función, además debe utilizar un arnés y cuerda resistente a las sustancias químicas que se encuentren en el espacio confinado, con longitud suficiente para poder maniobrar dentro del área y ser utilizada para rescatarlo en caso de ser necesario.

9.9 Cuando se cuente con un sistema de ventilación artificial, este debe operarse bajo un programa de mantenimiento y supervisión de funcionamiento.

## **12 Requisitos de seguridad e higiene para el transporte y almacenamiento de sustancias corrosivas, irritantes o tóxicas.**

12.1 El almacenamiento de sustancias corrosivas, irritantes o tóxicas debe hacerse en recipientes específicos, de materiales compatibles con la sustancia de que se trate.

12.2 Cuando el transporte de sustancias corrosivas, irritantes o tóxicas en los centros de trabajo se realice a través de un sistema de tuberías o recipientes portátiles, estos deben estar cerrados para evitar que su contenido se derrame o fugue.

## **Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1999, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral**

### **Objetivo**

Establecer medidas para prevenir daños a la salud de los trabajadores expuestos a las sustancias químicas contaminantes del medio ambiente laboral, y establecer los límites máximos permisibles de exposición en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas que por sus propiedades, niveles

de concentración y tiempo de exposición, sean capaces de contaminar el medio ambiente laboral y alterar la salud de los trabajadores.

## **Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-1993 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.**

### **Objetivo**

Establecer las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido que por sus características, niveles y tiempo de acción, sea capaz de alterar la salud de los trabajadores; los niveles máximos y los tiempos máximos permisibles de exposición por jornada de trabajo, su correlación, y la implementación de un programa de conservación de la audición.

Los puntos de interés son:

Nivel de ruido efectivo en ponderación A (NRE) es el valor de ruido no atenuado por el equipo de protección auditiva.

Tabla A.1 Límites máximos permisibles de exposición

NER	Tiempo
93 dB(A)	4 horas
99 dB(A)	1 hora
105 dB(A)	15 minutos
90 dB(A)	8 horas
96 dB(A)	2 horas
102 dB(A)	30 minutos

### **8.7 Control**

8.7.1 Cuando el NER supere los límites máximos permisibles de exposición establecidos en la Tabla A.1, se debe aplicar una o varias de las medidas de control siguientes, para mantener la exposición dentro de lo permisible:

a) medidas técnicas de control, consistentes en:

1. efectuar labores de mantenimiento preventivo y correctivo de las fuentes generadoras de ruido;
2. sustitución o modificación de equipos o procesos;
3. reducción de las fuerzas generadoras del ruido;
4. modificar los componentes de frecuencia con mayor posibilidad de daño a la salud de los trabajadores;
5. distribución planificada y adecuada, del equipo en la planta;

6. acondicionamiento acústico de las superficies interiores de los recintos;
7. instalación de cabinas, envolventes o barreras totales o parciales, interpuestas entre las fuentes sonoras y los receptores;
8. tratamiento de las trayectorias de propagación del ruido y de las vibraciones, por aislamientos de las máquinas y elementos;

b) Implementar medidas administrativas de control, como:

- a. manejo de los tiempos de exposición;
- b. programación de la producción;
- c. otros métodos administrativos.

**Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2001, Equipo de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo.**

### **Objetivo**

Establecer los requisitos para la selección, uso y manejo de equipo de protección personal, para proteger a los trabajadores de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su salud.

Los puntos de interés son:

Equipo de protección personal (EPP): conjunto de elementos y dispositivos, diseñados específicamente para proteger al trabajador contra accidentes y enfermedades que pudieran ser causados por agentes o factores generados con motivo de sus actividades de trabajo y de la atención de emergencias. En caso de que en el análisis de riesgo se establezca la necesidad de utilizar ropa de trabajo con características de protección, ésta será considerada equipo de protección personal.

## **5. Obligaciones del patrón**

5.1 Mostrar a la autoridad del trabajo, cuando ésta así lo solicite, los documentos que la presente Norma le obligue a elaborar o poseer.

5.2 Identificar y analizar los riesgos de trabajo a los que están expuestos los trabajadores por cada puesto de trabajo y área del centro laboral. Esta información debe registrarse y conservarse actualizada mientras no se modifiquen los implementos y procesos de trabajo, con al menos los siguientes datos: tipo de actividad que desarrolla el trabajador, tipo de riesgo de trabajo identificado, región anatómica por proteger, puesto de trabajo y equipo de protección personal requerido.

5.3 Determinar el equipo de protección personal, que deben utilizar los trabajadores en función de los riesgos de trabajo a los que puedan estar expuestos por las actividades que



desarrollan o por las áreas en donde se encuentran. En caso de que en el análisis de riesgo se establezca la necesidad de utilizar ropa de trabajo con características de protección, ésta será considerada equipo de protección personal.

5.4 Proporcionar a los trabajadores equipo de protección personal que cumpla con las siguientes condiciones:

- a) Que atenúe la exposición del trabajador con los agentes de riesgo;
- b) Que en su caso, sea de uso personal;
- c) Que esté acorde a las características físicas de los trabajadores, y
- d) Que cuente con las indicaciones, las instrucciones o los procedimientos del fabricante para su uso, revisión, reposición, limpieza, limitaciones, mantenimiento, resguardo y disposición final.

5.5 Comunicar a los trabajadores los riesgos de trabajo a los que están expuestos, por puesto de trabajo o área del centro laboral, con base a la identificación y análisis de riesgos a los que se refiere el apartado 5.2.

5.6 Proporcionar a los trabajadores la capacitación y adiestramiento para el uso, revisión, reposición, limpieza, limitaciones, mantenimiento, resguardo y disposición final del equipo de protección personal, con base en las indicaciones, instrucciones o procedimientos que elabore el fabricante de tal equipo de protección personal.

5.7 Supervisar que durante la jornada de trabajo, los trabajadores utilicen el equipo de protección personal proporcionado, con base a la capacitación y adiestramiento proporcionados previamente.

5.8 Identificar y señalar las áreas del centro de trabajo en donde se requiera el uso obligatorio de equipo de protección personal. La señalización debe cumplir con lo establecido en la NOM-026-STPS-1998.

## **6. Obligaciones de los trabajadores que usen equipo de protección personal**

6.1 Participar en la capacitación y adiestramiento que el patrón proporcione para el uso, revisión, reposición, limpieza, limitaciones, mantenimiento, resguardo y disposición final del equipo de protección personal.

6.2 Utilizar el equipo de protección personal proporcionado por el patrón de acuerdo a la capacitación que recibieron para tal efecto.

6.3 Revisar antes de iniciar, durante y al finalizar su turno de trabajo, las condiciones del equipo de protección personal que utiliza.

6.4 Informar al patrón cuando las condiciones del equipo de protección personal ya no lo proteja, a fin de que se le proporcione mantenimiento, o se lo reemplace.

## 7. Indicaciones, instrucciones o procedimientos para la identificación y selección del equipo de protección personal

Con base en la actividad que desarrolle cada trabajador, en función de su puesto de trabajo, se podrá seleccionar el equipo de protección personal para la región anatómica del cuerpo expuesta y la protección que se requiere dar. La Tabla A1 relaciona las regiones anatómicas del cuerpo humano con el equipo de protección personal, así como los tipos de riesgo a cubrir.

Tabla A1 Determinación del equipo de protección personal

Clave y Región Anatómica	Clave y epp	Tipo de riesgo en función de la actividad
1) Cabeza	A) Casco contra impacto B) Casco dieléctrico C) Capuchas	A) Golpeado por algo, que sea una posibilidad de riesgo continuo inherente a su actividad. B) Riesgo a una descarga eléctrica (considerar alto o bajo voltaje, los cascos son diferentes). C) Exposición a temperaturas bajas o exposición a partículas. Protección con una capucha que puede ir abajo del casco de protección personal.
2) Ojos y cara	A) Anteojos de protección B) Goggles C) Pantalla facial D) Careta para soldador E) Gafas para soldador	A) Riesgo de proyección de partículas o líquidos. En caso de estar expuesto a radiaciones, se utilizan anteojos de protección contra la radiación. B) Riesgo de exposición a vapores o humos que pudieran irritar los ojos o partículas mayores o a alta velocidad. C) Se utiliza también cuando se expone a la proyección de partículas en procesos tales como esmerilado o procesos similares; para proteger ojos y cara. D) Específico para procesos de soldadura eléctrica. E) Específico para procesos con soldadura autógena
3) Oídos	A) Tapones auditivos B) Conchas acústicas	A) Protección contra riesgo de ruido; de acuerdo al máximo especificado en el producto o por el fabricante. B) Mismo caso del inciso A.

Clave y Región Anatómica	Clave y epp	Tipo de riesgo en función de la actividad
4) Aparato respiratorio	<p>A) Respirador contra partículas  B) Respirador contra gases y vapores  C) Mascarilla desechable  D) Equipo de respiración autónomo.</p> <p>En este tipo de productos es importante verificar las recomendaciones o especificaciones de protección del equipo, hecha por el fabricante del producto.</p>	<p>A) Protección contra polvos o partículas en el medio ambiente laboral y que representan un riesgo a la salud del trabajador.  B) Protección contra gases y vapores. Considerar que hay diferentes tipos de gases y vapores para los cuales aplican también diferentes tipos de respiradores, incluyendo para gases o vapores tóxicos.  C) Mascarilla sencilla de protección contra polvos.  D) Se utiliza cuando el trabajador entra a espacios confinados o cuando un respirador no proporciona la protección requerida.</p>
5) Extremidades superiores	<p>A) Guantes contra sustancias químicas  B) Guantes dieléctricos  C) Guantes contra temperaturas extremas  D) Guantes  E) Mangas</p> <p>En este tipo de productos es importante verificar las recomendaciones o especificaciones de los diferentes guantes existentes en el mercado, hecha por el fabricante del producto. Su uso depende de los materiales o actividad a desarrollar.</p>	<p>A) Riesgo por exposición o contacto con sustancias químicas corrosivas.  B) Protección contra descargas eléctricas. Considerar que son diferentes guantes dependiendo de protección contra alta o baja tensión.  C) Riesgo por exposición a temperaturas bajas o altas.  D) Hay una gran variedad de guantes: tela, carnaza, piel, pvc, látex, entre otros. Dependiendo del tipo de protección que se requiere, actividades expuestas a corte, vidrio, etc.  E) Se utilizan cuando es necesario extender la protección de los guantes hasta los brazos.</p>

Clave y Región Anatómica	Clave y epp	Tipo de riesgo en función de la actividad
6) Tronco	A) Mandil contra altas temperaturas B) Mandil contra sustancias químicas C) Overol D) Bata E) Ropa contra sustancias peligrosas	A) Riesgo por exposición a altas temperaturas; cuando se puede tener contacto del cuerpo con algo que esté a alta temperatura. B) Riesgo por exposición a sustancias químicas corrosivas; cuando se puede tener contacto del cuerpo con este tipo de sustancias. C) Extensión de la protección en todo el cuerpo por posible exposición a sustancias o temperaturas. Considerar la facilidad de quitarse la ropa lo más pronto posible, cuando se trata de sustancias corrosivas. D) Protección generalmente usada en laboratorios u hospitales. E) Es un equipo de protección personal que protege cuerpo, cabeza, brazos, piernas pies, cubre y protege completamente el cuerpo humano ante la exposición a sustancias altamente tóxicas o corrosivas.
7) Extremidades inferiores	A) Calzado ocupacional B) Calzado contra impactos C) Calzado conductivo D) Calzado dieléctrico E) Calzado contra sustancias químicas F) Polainas G) Botas impermeables	A) Proteger a la persona contra golpes, achacamientos, resbalones, etc. B) Protección mayor que la del inciso anterior contra golpes, que pueden representar un riesgo permanente en función de la actividad desarrollada. C) Protección del trabajador cuando es necesario que se elimine la electricidad estática del trabajador; generalmente usadas en áreas de trabajo con manejo de sustancias explosivas. D) Protección contra descargas eléctricas. E) Protección de los pies cuando hay posibilidad de tener contacto con algunas sustancias químicas. Considerar especificación del fabricante. F) Extensión de la protección que pudiera tenerse con los zapatos exclusivamente. G) Generalmente utilizadas cuando se trabaja en áreas húmedas.
8) Otros	A) Equipo de protección contra caídas de altura B) Equipo para brigadista contra incendio	A) Específico para proteger a trabajadores que desarrollen sus actividades en alturas y entrada a espacios confinados. B) Específico para proteger a los brigadistas contra altas temperaturas y fuego. Hay equipo adicional en función de las actividades rescate a realizar.

**Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.**

**Objetivo**

Establecer los requisitos mínimos de un sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas, que de acuerdo a sus características físicas, químicas, de toxicidad, concentración y tiempo de exposición, puedan afectar la salud de los trabajadores o dañar el centro de trabajo.

Criterios de clasificación de grados de riesgo a la salud (Modelo rectángulo)

Grado de riesgo	Característica de la sustancia química peligrosa
4	Severamente peligroso. Por una o repetidas exposiciones puede amenazar la vida o causar un daño mayor o permanente. Corrosivo, con efectos irreversibles en la piel; extremadamente irritante y que persiste más de 7 días. Concentraciones: Oral; DL50 rata: hasta 1 mg/kg Piel; DL50 conejo o rata: hasta 20 mg/kg Inhalación; CL50 rata: hasta 0.2 mg/L o hasta 20 ppm
3	Seramente peligroso. Lesión grave probablemente de atención rápida y tomar tratamiento médico. Muy irritante o con efectos reversibles en piel o cornea (opacidad) que persisten más de 7 días. Concentraciones: Oral; DL50 rata: mayor que 20 hasta 50 mg/kg Piel; DL50 conejo o rata: mayor que 20 hasta 200 mg/kg Inhalación; CL50 rata: mayor que 0.2 hasta 2 mg/L o mayor que 20 hasta 200 ppm
2	Moderadamente peligroso. Puede ocasionar una lesión temporal o menor. Moderadamente irritante, reversible dentro de 7 días. Concentraciones: Oral; DL50 rata: mayor que 50 hasta 500 mg/kg Piel; DL50 conejo o rata: mayor que 200 hasta 1,000 mg/kg Inhalación; CL50 rata: mayor que 2 hasta 20 mg/L o mayor que 200 hasta 1,000 en ppm
1	Ligeramente peligroso. Irritación o posible lesión reversible. Ligeramente irritante, reversible dentro de 7 días. Concentraciones: Oral; DL50 rata: mayor que 500 hasta 5,000 mg/kg Piel; DL50 conejo o rata: mayor que 1,000 hasta 5,000 mg/kg Inhalación; CL50 rata: mayor que 20 hasta 200 mg/L o mayor que 2,000 hasta 10,000 en ppm
0	Mínimamente peligroso. No significa un riesgo para la salud. Esencialmente no irritante. Concentraciones: Oral; DL50 rata: mayor que 5,000 mg/kg Piel; DL50 conejo o rata: mayor que 5,000 mg/kg Inhalación; CL50 rata: mayor que 200 mg/L o mayor que 10,000 ppm



### Criterios de clasificación de grados de riesgo de inflamabilidad (Modelos rectángulo y rombo)

Grado de riesgo	Característica de la sustancia química peligrosa
4	<p>Sustancias que vaporizan rápida o completamente a presión atmosférica y a temperatura ambiente normal o que se dispersan con facilidad en el aire y que arden fácilmente, éstas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases inflamables</li> <li>• Sustancias criogénicas inflamables.</li> <li>• Cualquier líquido o sustancia gaseosa que es líquida mientras está bajo presión, y que tiene un punto de ignición por debajo de 22.8°C (73°F) y un punto de ebullición por debajo de 37.8°C (100°F).</li> <li>• Sustancias que arden cuando se exponen al aire.</li> <li>• Sustancias que arden espontáneamente.</li> </ul>
3	<p>Líquidos y sólidos que pueden arder bajo casi todas las condiciones de temperatura ambiente, estos incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Líquidos que tienen un punto de ignición por debajo de 22.8°C (73°F) y un punto de ebullición igual o mayor que 37.8°C (100°F), y aquellos líquidos que tienen un punto de ignición igual o mayor que 22.8°C (73°F) y un punto de ebullición por debajo de 37.8°C (100°F).</li> <li>• Sustancias que de acuerdo a su forma física o a las condiciones ambientales pueden formar mezclas explosivas con el aire y que se dispersan con facilidad en el aire.</li> <li>• Sustancias que se queman con extrema rapidez, porque usualmente contienen oxígeno.</li> </ul>
2	<p>Sustancias que deben ser precalentadas moderadamente o expuestas a temperatura ambiente relativamente altas, antes de que pueda ocurrir la ignición. Las sustancias en este grado de clasificación no forman atmósferas peligrosas con el aire bajo condiciones normales, pero bajo temperaturas ambiente elevadas o bajo calentamiento moderado, podrían liberar vapor en cantidades suficientes para producir atmósferas peligrosas con el aire, estas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Líquidos que tienen un punto de ignición igual o mayor que 37.8°C (100°F) y por debajo de 93.4°C (200°F).</li> <li>• Sustancias sólidas en forma de polvo que se queman con facilidad, pero que generalmente no forman atmósferas explosivas con el aire.</li> <li>• Sustancias sólidas en forma de fibras que se queman con facilidad y crean peligro de fuego, como el algodón, henequén y cáñamo.</li> <li>• Sólidos y semisólidos que despiden fácilmente vapores inflamables.</li> </ul>

Grado de riesgo	Característica de la sustancia química peligrosa
1	<p>Sustancias que deben ser precalentadas antes de que ocurra la ignición. requieren un precalentamiento considerable bajo todas las condiciones de temperatura ambiente, antes de que ocurra la ignición y combustión, éstas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustancias que se quemarán en el aire cuando se expongan a una temperatura de 815.5°C (1500°F) por un período de 5 minutos o menos.</li> <li>• Líquidos, sólidos y semisólidos que tengan un punto de ignición igual o mayor que 93.4°C (200°F).</li> <li>• Líquidos con punto de ignición mayor que 35°C (95°F) y que no sostienen la combustión cuando son probados usando el Método de Prueba para Combustión Sostenida.</li> <li>• Líquidos con punto de ignición mayor que 35°C (95°F) en una solución acuosa o dispersión en agua con líquido/sólido no combustible en contenido de más del 85% por peso.</li> <li>• Líquidos que no tienen punto de fuego cuando son probados por el método ASTM D 92, Standard Test Method for Flash Point and Fire Point by Cleveland Open Cup, hasta el punto de ebullición del líquido o hasta una temperatura en la cual muestra bajo prueba un cambio físico evidente.</li> <li>• La mayoría de las sustancias combustibles ordinarias.</li> </ul>
0	<p>Sustancias que no se quemarán, éstas incluyen cualquier material que no se quemará en aire, cuando sea expuesto a una temperatura de 815.5°C (1,500°F), durante un período mayor de 5 minutos.</p>

### Criterios de clasificación de grados de riesgo de reactividad (Modelos rectángulo y rombo)

Grado de riesgo	Característica de la sustancia química peligrosa
4	<p>Con facilidad son capaces de detonar o sufrir una detonación explosiva o reacción explosiva a temperaturas y presiones normales, se incluye a los materiales que son sensibles al choque térmico o al impacto mecánico a temperatura y presión normales.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustancias que tienen una densidad de poder instantáneo (producto del calor de reacción y rango de reacción) a 250°C(482°F) de 1,000 W/mL o mayor.</li> </ul>
3	<p>Sustancias que por sí mismas son capaces de detonación o descomposición o reacción explosiva, pero que requieren una fuente de iniciación o que deben ser calentadas bajo confinamiento antes de su iniciación, éstas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustancias que tienen una densidad de poder instantáneo a 250°C(482°F) igual o mayor que 100 W/mL y por debajo de 1,000 W/mL.</li> <li>• Sustancias que son sensibles al choque térmico o impacto mecánico a temperaturas y presiones elevadas.</li> <li>• Sustancias que reaccionan explosivamente con el agua sin requerir calentamiento o confinamiento.</li> </ul>

Grado de riesgo	Característica de la sustancia química peligrosa
2	<p>Sustancias que sufren con facilidad un cambio químico violento a temperaturas y presiones elevadas, éstas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustancias que tienen una densidad de poder instantáneo a 250°C(482°F) igual o mayor que 10 W/mL y por debajo de 100 W/mL.</li> <li>• Sustancias que reaccionan violentamente con el agua o forman mezclas potencialmente explosivas con el agua.</li> </ul>
1	<p>Sustancias que por sí mismas son estables normalmente, pero que pueden convertirse en inestables a ciertas temperaturas y presiones, éstas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustancias que tienen una densidad de poder instantáneo a 250°C(482°F) igual o mayor de 0.01 W/mL y por debajo de 10 W/mL.</li> <li>• Sustancias que reaccionan vigorosamente con el agua, pero no violentamente.</li> <li>• Sustancias que cambian o se descomponen al exponerse al aire, la luz o la humedad.</li> </ul>
0	<p>Sustancias que por sí mismas son estables normalmente, aún bajo condiciones de fuego, éstas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustancias que tienen una densidad de poder instantáneo a 250°C (482°F) por debajo de 0.01 W/mL.</li> <li>• Sustancias que no reaccionan con el agua.</li> <li>• Sustancias que no exhiben una reacción exotérmica a temperaturas menores o iguales a 500°C (932°F) cuando son probadas por calorimetría diferencial (differential scanning calorimetry).</li> </ul>

## Letras de identificación del equipo de protección personal

A: Antojos de seguridad

B: Antojos de seguridad y guantes

C: Antojos de seguridad, guantes y mandil

D: Careta, guantes y mandil

E: Antojos de seguridad, guantes y respirador para polvos

F: Antojos de seguridad, guantes, mandil y respirador para polvos

G: Antojos de seguridad, guantes y respirador para vapores

H: Goggles para salpicaduras, guantes, mandil y respirador para vapores

I: Antojos de seguridad, guantes y respirador para polvos y vapores

J: Goggles para salpicaduras, guantes, mandil y respirador para polvos y vapores

K: Capucha con línea de aire o equipo SCBA, guantes, traje completo de protección y botas

X: Consulte con el supervisor las indicaciones especiales para el manejo de estas sustancias

**Nota:** *Se pueden utilizar una o más letras de identificación.*

## Modelo rombo

Para identificar los riesgos especiales se debe:

- a) usar las letras OXI para indicar la presencia de una sustancia oxidante;
- b) usar el símbolo W para indicar que una sustancia puede tener una reacción peligrosa al entrar en contacto con el agua;
- c) opcionalmente usar las letras o símbolos del equipo de protección personal

### Criterios de clasificación de grados de riesgo a la salud (Modelo rombo)

Grado de riesgo	Característica de la sustancia química peligrosa
4	<p>Sustancias que bajo condiciones de emergencia, pueden ser letales. Los siguientes criterios deben considerarse en la clasificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases cuya CL50 de toxicidad aguda por inhalación sea menor o igual a 1,000 ppm</li> <li>• Cualquier líquido cuya concentración de vapor saturado a 20°C sea igual o mayor que diez veces su CL50 para toxicidad aguda por inhalación, siempre y cuando su CL50 sea menor o igual a 1,000 ppm</li> <li>• Polvos y neblinas cuya CL50 para toxicidad aguda por inhalación sea menor o igual a 0.5 mg/L</li> <li>• Sustancias cuya DL50 para toxicidad dérmica aguda sea menor o igual a 40 mg/kg</li> <li>• Sustancias cuya DL50 para toxicidad oral aguda sea menor o igual a 5 mg/kg</li> </ul>
3	<p>Sustancias que bajo condiciones de emergencia, pueden causar daños serios o permanentes. Los siguientes criterios deben considerarse en la clasificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases cuya CL50 de toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 1,000 ppm, pero menor o igual a 3,000 ppm</li> <li>• Cualquier líquido cuya concentración de vapor saturado a 20°C sea igual o mayor que su CL50 para toxicidad aguda por inhalación, siempre y cuando su CL50 sea menor o igual a 3,000 ppm y que no cumpla los criterios para el grado 4 de peligro.</li> <li>• Polvos y neblinas cuya CL50 para toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 0.5 mg/L, pero menor o igual a 2 mg/L</li> <li>• Sustancias cuya DL50 para toxicidad dérmica aguda sea mayor que 40 mg/kg, pero menor o igual a 200 mg/kg</li> <li>• Sustancias que sean corrosivas al tracto respiratorio</li> <li>• Sustancias que sean corrosivas a los ojos o que causen opacidad corneal irreversible</li> <li>• Sustancias que sean irritantes y/o corrosivas severas para la piel</li> <li>• Sustancias cuya DL50 para toxicidad oral aguda sea mayor que 5 mg/kg, pero menor o igual a 50 mg/kg</li> </ul>

Grado de riesgo	Característica de la sustancia química peligrosa
2	<p>Sustancias que bajo condiciones de emergencia, pueden causar incapacidad temporal o daño residual. Los siguientes criterios deben considerarse en la clasificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases cuya CL50 de toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 3,000 ppm, pero menor o igual a 5,000 ppm</li> <li>• Cualquier líquido cuya concentración de vapor saturado a 20°C sea igual o mayor que un quinto de su CL50 para toxicidad aguda por inhalación, siempre y cuando su CL50 sea menor o igual a 5,000 ppm y que no cumpla los criterios para los grados 3 o 4 de peligro</li> <li>• Polvos y neblinas cuya CL50 para toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 2 mg/L y menor o igual a 10 mg/L</li> <li>• Sustancias cuya DL50 para toxicidad dérmica aguda sea mayor que 200 mg/kg, y menor o igual a 1,000 mg/kg</li> <li>• Sustancias que sean irritantes al tracto respiratorio</li> <li>• Sustancias que causen irritación y daño reversible en los ojos</li> <li>• Sustancias que sean irritantes primarios de la piel o sensibilizantes</li> <li>• Sustancias cuya DL50 para toxicidad oral aguda sea mayor que 50 mg/kg, y menor o igual a 500 mg/kg</li> </ul>
1	<p>Sustancias que bajo condiciones de emergencia pueden causar irritación significativa. Los siguientes criterios deben considerarse en la clasificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases cuya CL50 de toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 5,000 ppm, y menor o igual a 10,000 ppm</li> <li>• Polvos y neblinas cuya CL50 para toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 10 mg/L, y menor o igual a 200 mg/L</li> <li>• Sustancias cuya DL50 para toxicidad dérmica aguda sea mayor que 1,000 mg/kg, y menor o igual a 2,000 mg/kg</li> <li>• Sustancias que sean ligeramente irritantes al tracto respiratorio, ojos y piel</li> <li>• Sustancias cuya DL50 para toxicidad oral aguda sea mayor que 500 mg/kg, y menor o igual a 2,000 mg/kg</li> </ul>
0	<p>Sustancias que bajo condiciones de emergencia, no ofrecen mayor peligro que el de los materiales combustibles ordinarios. Los siguientes criterios deben considerarse en la clasificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases cuya CL50 de toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 10,000 ppm</li> <li>• Polvos y neblinas cuya CL50 para toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 200 mg/L</li> <li>• Sustancias cuya DL50 para toxicidad dérmica aguda sea mayor que 2,000 mg/kg</li> <li>• Sustancias cuya DL50 para toxicidad oral aguda sea mayor que 2,000 mg/kg</li> <li>• Sustancias no irritantes del tracto respiratorio, ojos y piel</li> </ul>

## **Norma Oficial Mexicana NOM-019-STPS-2004, Constitución, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.**

### **Objetivo**

Establecer los lineamientos para la constitución, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.



Los puntos de interés son:

### 3. Definiciones

Para efectos de la presente Norma se establecen las siguientes definiciones:

- a) Accidente de trabajo: es toda lesión orgánica o perturbación funcional, inmediata o posterior o la muerte, producida repentinamente en ejercicio o con motivo del trabajo, cualesquiera que sean el lugar y el tiempo en que se preste;
- b) Actos inseguros: son las acciones realizadas por el trabajador, que omite o viola el método o medidas aceptadas como seguras;
- c) Autoridad del trabajo; Autoridad laboral: son las unidades administrativas competentes de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, que realizan funciones de inspección en materia de seguridad e higiene de trabajo, y las correspondientes de las entidades federativas y del Distrito Federal que actúen en auxilio de ellas;
- d) Actividades peligrosas: es el conjunto de tareas derivadas de los procesos de trabajo, que generan condiciones inseguras y sobre exposición a los agentes físicos, químicos o biológicos, capaces de provocar daño a la salud de los trabajadores o al centro de trabajo;
- e) Centro de trabajo: todo aquel lugar, cualquiera que sea su denominación, en el que se realicen actividades de producción, de comercialización o de prestación de servicios, o en el que laboren personas que estén sujetas a una relación de trabajo;
- f) Condiciones inseguras: son las situaciones o circunstancias peligrosas que derivan de los elementos que conforman el medio ambiente laboral y pueden hacer posible la ocurrencia de un accidente, enfermedad de trabajo o daño material;
- g) Condiciones peligrosas: son aquellas que pueden provocar un incidente, accidente o una enfermedad de trabajo;
- h) Enfermedad del trabajo: es todo estado patológico derivado de la acción continuada de una causa que tenga su origen o motivo en el trabajo o en el medio en que el trabajador se vea obligado a prestar sus servicios. Serán consideradas, en todo caso, enfermedades de trabajo, las consignadas en la Tabla del artículo 513 de la Ley Federal del Trabajo;

- i) Incidente: acontecimiento no deseado que ocasiona o puede ocasionar daños al proceso, maquinaria, equipo y/o a las instalaciones del centro de trabajo, pero que en circunstancias diferentes, podría haber derivado en lesiones para las personas y que requiere ser investigado para considerarlo en la adopción de medidas preventivas;
- j) Riesgos de trabajo: son los accidentes y enfermedades a que están expuestos los trabajadores en ejercicio o con motivo de su trabajo;

## **6. Constitución**

6.1 Las comisiones deben integrarse en los centros de trabajo en un plazo no mayor de treinta días hábiles, a partir de la fecha de iniciación de actividades, y éstas deben contar con su acta de constitución en aquellos centros de trabajo que ya se encuentren laborando y mostrarla a la autoridad laboral cuando se los requiera.

### ***6.3 De la integración.***

6.3.1 Integrar una comisión de seguridad e higiene por cada centro de trabajo.

6.3.1.1 La comisión de seguridad e higiene debe integrarse de la siguiente manera:

- a) en el caso de que el centro de trabajo cuente con menos de 15 trabajadores, la comisión de seguridad e higiene debe estar integrada por un trabajador y por el patrón o su representante, y asumirán las funciones y responsabilidades establecidas en la presente Norma;
- b) para el caso de que el centro de trabajo cuente con 15 trabajadores o más, la comisión de seguridad e higiene debe estar integrada, invariablemente, por un coordinador y un secretario, así como por los vocales que acuerden el patrón o sus representantes, y el sindicato o el representante de los trabajadores cuando no exista la figura sindical, asumiendo las funciones y responsabilidades establecidas en esta norma.

## **7. Organización**

7.1 La comisión se organizará en los términos que señala el apartado 6.3.1.1. En caso de no existir sindicato, podrán designar el número de vocales que acuerden ambas representaciones. Para cumplir con las funciones que señala esta Norma, el coordinador, el secretario y los vocales recibirán capacitación, conforme a lo previsto en el Reglamento.

7.3 Los puestos de coordinador y secretario se alternarán cada dos años entre los representantes patronal y obrero.

7.5 Los integrantes de la comisión podrán ser sustituidos por acuerdo del patrón, del sindicato o de la mayoría de los trabajadores en caso de no existir sindicato.

## **8. Funcionamiento**

Para vigilar el cumplimiento de las disposiciones que señala el Reglamento y las normas aplicables emitidas por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, las comisiones deben llevar a cabo las siguientes actividades:

8.1 Establecer una programación anual de verificaciones, asignando prioridades de acuerdo a los incidentes, accidentes y enfermedades de trabajo y a las áreas con mayores condiciones peligrosas, dentro de los 15 días siguientes a la integración de la comisión, y posteriormente a más tardar en los primeros 15 días hábiles de cada año.

8.2 Realizar las verificaciones programadas; mensuales, bimestrales o trimestrales, según lo acordado en el programa anual, para detectar condiciones peligrosas.

8.3 Efectuar verificaciones extraordinarias en caso de accidentes o enfermedades de trabajo que generen defunciones o incapacidades permanentes, cambios en el proceso de trabajo con base en la información proporcionada por el patrón o a solicitud de los trabajadores, cuando reporten condiciones peligrosas que, a juicio de la propia comisión, así lo ameriten.

8.4 De cada una de las verificaciones se levantará un acta anotando las condiciones peligrosas y el incumplimiento, que en su caso existan, al Reglamento o a las normas aplicables en materia de seguridad, higiene y medio ambiente de trabajo; las propuestas de medidas para su corrección; los resultados de las recomendaciones atendidas y el proceso de resolución de las que queden pendientes. Esta acta será entregada por el coordinador al patrón, quien la deberá conservar, al menos, por doce meses y exhibirla a la autoridad laboral cuando así lo requiera.

8.5 Investigar, analizar y registrar en el acta de verificación de la comisión, las causas de los accidentes y enfermedades de trabajo y proponer medidas para prevenirlos.

8.6 Atender y asentar en las actas de verificación de la comisión, las condiciones peligrosas que le señalen los trabajadores, emitiendo las observaciones que correspondan, haciéndolas del conocimiento del patrón de manera inmediata.

8.7 Cuando la comisión sufra un cambio o modificación en sus integrantes ésta deberá proporcionar un curso de inducción a las funciones que desarrolle como nuevo integrante.

## Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-1998, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías

### Objetivo

Definir los requerimientos en cuanto a los colores y señales de seguridad e higiene y la identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías

Los puntos de interés son:

TABLA 1. Colores de seguridad, su significado e indicaciones y precisiones




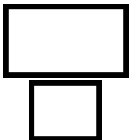
Color de Seguridad	Significado	Indicaciones y precisiones
ROJO	Paro.	Alto y dispositivos de desconexión para emergencias
	Prohibición.	Señalamientos para prohibir acciones específicas
	Material, equipo y sistemas para combate de incendios.	Ubicación y localización de los mismos e identificación de tuberías que conducen fluidos para el combate de incendios.
AMARILLO	Advertencia de peligro.	Atención, precaución, verificación e identificación de tuberías que conducen fluidos peligrosos
	Delimitación de áreas.	Límites de áreas restringidas o de usos específicos.
	Advertencia de peligro por radiaciones ionizantes.	Señalamiento para indicar la presencia de material radiactivo.
VERDE	Condición segura.	Identificación de tuberías que conducen fluidos de bajo riesgo. Señalamientos para indicar salidas de emergencia, rutas de evacuación, zonas de seguridad y primeros auxilios, lugares de reunión, regaderas de emergencia, lavajos, entre otros.
AZUL	Obligación.	Señalamientos para realizar acciones específicas.

TABLA 2. Selección de colores contrastantes

Color de seguridad	Color contrastante
Rojo	Blanco
Amarillo	Negro, Magenta*
Verde	Blanco
Azul	Blanco

\* Nota: El magenta debe ser el color contrastante

## Formas geométricas para señales de seguridad e higiene y su significado

Significado	Forma geométrica	Descripción de forma geométrica	Utilización
Prohibición		Círculo con banda circular y banda diametral oblicua a 45°, con la horizontal, dispuesta de la parte superior izquierda a la inferior derecha.	Prohibición de una acción susceptible de provocar un riesgo.
Obligación		Círculo	Descripción de una acción obligatoria
Precaución		Triángulo equilátero. La base deberá ser paralela a la horizontal.	Advertencia de un peligro.
Información		Cuadro o rectángulo. La relación de lados será como máximo 1:2.	Proporcionar información para casos de emergencia.

## Colores de seguridad para tuberías y su significado

Color de seguridad	Significado
Rojo	Identificación de fluidos para el combate de incendio conducidos por tubería.
Amarillo	Identificación de fluidos peligrosos conducidos por tubería.
Verde	Identificación de fluidos de bajo riesgo conducidos por tubería.










## Señales de prohibición

Indicación	Contenido de imagen del Símbolo	Ejemplo	Indicación	Contenido de imagen del Símbolo	Ejemplo
Prohibido el paso	Silüeta humana caminando		Agua no potable	Llave sobre vaso conteniendo agua indicada por líneas onduladas	
Prohibido el paso a montacargas y otros vehículos industriales	Contorno de perfil de montacargas y silüeta de conductor		Prohibido el paso a Personas con marcapasos	Silüeta estilizada de corazón y cable	






Indicación	Contenido de imagen del Símbolo	Ejemplo	Indicación	Contenido de imagen del Símbolo	Ejemplo
Prohibido el uso de artículos metálicos o relojes de pulsera	Figura estilizada de reloj de pulsera y silueta lateral de llave		No utilizar agua como agente extinguidor	Cubo derramando agua sobre llama	
Prohibido fumar	Cigarrillo encendido		Prohibido generar llama abierta e introducir objetos incandescentes	Cerillo encendido	

### Señales de obligación



Indicación	Contenido de imagen del Símbolo	Ejemplo	Indicación	Contenido de imagen del Símbolo	Ejemplo
Indicación general de obligación	Signo de admiración		Uso obligatorio de casco de protección	Contorno de cabeza humana, portando casco	
Uso obligatorio de protección auditiva	Contorno de cabeza humana portando protección		Uso obligatorio de protección ocular	Contorno de cabeza humana portando anteojos	
Uso obligatorio de calzado de protección	Un zapato de protección		Uso obligatorio de guantes de protección	Un par de guantes	
Uso obligatorio de protección respiratoria Contorno de	Cabeza humana portando dispositivo de protección respiratoria		Uso obligatorio de equipo de protección personal contra caídas de altura	Contorno de figura humana portando arnés, atado a una cuerda	
Protección obligatoria de la cara	Contorno de cabeza humana portando protector facial				



## Señales de precaución




Indicación	Contenido de imagen del Símbolo	Ejemplo	Indicación	Contenido de imagen del Símbolo	Ejemplo
Indicación general de precaución	Signo de admiración		Precaución sustancia toxica	Cráneo humano de frente con dos huesos largos cruzados por detrás	
Precaución sustancias corrosivas	Una mano incompleta sobre la que una probeta derrama un líquido.		Precaución materiales inflamables y combustibles	Imagen de flama	
Precaución materiales oxidantes y comburentes	Corona circular con una flama		Precaución materiales con riesgo de explosión	Una bomba explotando	
Advertencia de riesgo eléctrico	Flecha quebrada en posición vertical hacia abajo		Riesgo por radiación láser	Línea convergiendo hacia una imagen de resplandor	
Advertencia de riesgo biológico	Circunferencia y tres medias lunas		Riesgo por radiación no ionizante	Imagen abstracta de antena emitiendo ondas electromagnéticas	
Riesgo por presencia de campos magnéticos	Silueta de imán con dos arcos radiantes en ambos lados		Riesgo de obstáculos en zonas transitables	Silueta humana estilizada tropezando con un obstáculo en el suelo	
Riesgo de caída a desnivel	Silueta humana estilizada cayendo desde el borde de una superficie a desnivel		Riesgo por baja temperatura / condiciones de congelamiento	Figura abstracta mostrada en la imagen contigua	
Riesgo por superficie resbalosa	Silueta estilizada de hombre cayendo sobre una superficie resbalosa		Riesgo de caída de cargas suspendidas	Objeto cuadrangular soportado por cuatro cuerdas, donde se observa rota una de ellas	

Indicación	Contenido de imagen del Símbolo	Ejemplo	Indicación	Contenido de imagen del Símbolo	Ejemplo
Precaución, zona de tránsito de montacargas u otros vehículos industriales de transporte de materiales	Contorno de perfil de montacargas y silueta de conductor		Precaución, superficie caliente	Figura abstracta mostrada en la imagen contigua	
Precaución, zona a alta temperatura	Imagen de termómetro mostrando indicación de alta temperatura				

### Señales para equipo a utilizar en caso de incendio

Indicacion	Contenido de imagen del símbolo	Ejemplo
Ubicación de un extintor	Silueta de un extintor con flecha direccional opcional, en el sentido requerido	
Ubicación de un hidrante	Silueta de un hidrante con flecha direccional	

Indicación	Contenido de imagen del símbolo	Ejemplo
Ubicación de una salida de emergencia	Silueta humana avanzando hacia una salida en el sentido requerido. Opcionalmente puede adicionar la flecha direccional y el texto "Salida de emergencia"	
Ubicación de ruta de evacuación	Flecha indicando el sentido requerido, y en su caso, el número de la ruta de evacuación. Opcionalmente puede contener el texto "Ruta de evacuación"	

Indicación	Contenido de imagen del símbolo	Ejemplo
Ubicación de una regadera de emergencia	Silüeta humana bajo una regadera y flecha direccional	
Ubicación de estaciones y botiquín de primeros auxilios	Cruz griega y flecha direccional	
Ubicación de un lava ojos	Contorno de cabeza inclinada sobre un chorro de agua en un lava ojos y flecha direccional	

## **Norma Oficial Mexicana NOM-030-STPS -2006, Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo organización y funciones**

### **Objetivo**

Establecer los lineamientos para desarrollar y promover los Servicios Preventivos de Seguridad y Salud en el Trabajo y las acciones necesarias para que, con su aplicación en el centro de trabajo, se promueva un ambiente laboral seguro y sano que prevenga accidentes y enfermedades de trabajo.

Los puntos de interés son:

### **9. Relación de medidas preventivas o programa de seguridad e higiene en el trabajo**

#### **9.1 Relación de medidas preventivas de seguridad e higiene en el trabajo:**

La relación de medidas que deberán desarrollarse para salvaguardar la salud y vida de los trabajadores a fin de evitar la exposición del trabajador o la interacción con los agentes y condiciones que pueden ser factores de riesgo y/o peligros en el centro de trabajo, debe al menos:

a. Identificar los agentes, capaces de modificar las condiciones del medio ambiente del centro de trabajo que, por sus propiedades, concentración, nivel y tiempo de exposición o acción pueden alterar la salud de los trabajadores. Tales agentes pueden ser:

a) Físicos (ruido, radiaciones ionizantes, radiaciones electromagnéticas no ionizantes, presiones ambientales elevadas o abatidas, condiciones térmicas elevadas o abatidas, vibraciones e iluminación),

- I. Químicos (tóxicos, corrosivos, irritantes, reactivos, combustibles, inflamables y explosivos), y
  - II. Biológicos (seres vivos que al estar en contacto con el ser humano ocasionan enfermedades de tipo infeccioso, parasitario, alérgico o tóxico).
- b. Identificar los materiales que por sus propiedades físicas y químicas al ser manejados, transportados, almacenados o procesados, presentan la posibilidad de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, radiactividad, corrosividad o acción biológica dañina, y pueden afectar la salud de las personas expuestas o causar daños materiales a instalaciones y equipos.
- c. Identificar las circunstancias que representen condiciones físicas, peligrosas o inseguras, que puedan ser un riesgo en:
- I. Edificios, locales y áreas de operación, de mantenimiento y de tránsito.
  - II. Prevención, protección y combate de incendios.
  - III. Equipo, maquinaria, recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas.
  - IV. Operación y mantenimiento de maquinaria y equipo.
  - V. Equipos para soldar y cortar.
  - VI. Instalaciones eléctricas.
  - VII. Herramientas manuales, semiautomáticas y automáticas.
  - VIII. Manejo, transporte y almacenamiento de materiales en general.
  - IX. Uso de energía (eléctrica, hidráulica, térmica etc.).

## ***9.2 Programa de seguridad e higiene en el trabajo:***

Documento en el que se describen cronológicamente las actividades, métodos, técnicas y condiciones de seguridad y salud que deberán observarse en el centro de trabajo, y los responsables de operar y dar seguimiento a la prevención de accidentes y enfermedades de trabajo. Contará en su caso, con manuales de procedimientos específicos para el arranque, operación, mantenimiento, paro de emergencia y desmantelamiento de la maquinaria, equipo e instalaciones en condiciones de seguridad.

9.3 La relación de medidas preventivas y el programa de seguridad e higiene deberán contemplar, para los casos donde técnicamente no sea posible evitar riesgos, la dotación de equipo de protección personal específico para prevenir tales riesgos.

## **Norma Oficial Mexicana NOM-113-STPS-1994, Calzado de protección.**

### **Introducción**

Esta Norma Oficial Mexicana, es parte de una serie destinada a establecer las especificaciones del calzado de protección en sus diferentes tipos y tiene como finalidad evitar lesiones a los pies de los trabajadores según las características de fabricación.



## 1. Objetivo

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones mínimas de seguridad, métodos de prueba y características que debe cumplir el calzado de protección nuevo, que utilizan los trabajadores en sus actividades laborales, de acuerdo al riesgo, como protección para sus pies.

Los puntos de interés son:

## 5. Clasificación

Esta clasificación se establece únicamente para dar a conocer los tipos de calzado de protección.

### *5.1 El calzado de protección se clasifica en los tipos siguientes:*

#### **Tipo I** Calzado de protección para uso general:

Es aquél destinado a usarse en actividades donde el trabajador no está expuesto a riesgos de agentes físicos de acción mecánica.

#### **Tipo II** Calzado de protección con puntera:

Es aquél destinado a proteger los dedos de los pies, donde existen riesgos de agentes físicos de acción mecánica.

#### **Tipo III** Calzado de protección dieléctrico:

Es aquél destinado a proteger al usuario en zonas donde exista riesgo de descarga eléctrica.

#### **Tipo IV** Calzado de protección conductor de electricidad:

Es aquél que sirve para descargar la energía estática del cuerpo humano que se generó por acciones de trabajo.

#### **Tipo V** Calzado de protección metatarsal:

Es aquél que lleva un componente integral protector del empeine del pie, el cual resguarda razonablemente contra impactos directos al metatarso.

#### **Tipo VI** Calzado de protección resistente a la penetración de objetos punzocortantes hacia la planta del pie:

Es aquél que evita la afección de la planta del pie del usuario debido a la incrustación directa de ciertos objetos punzocortantes que traspasan la suela del calzado.

#### **Tipo VII** Calzado de Protección Impermeable:

Es aquél destinado a proteger al usuario del riesgo de filtración de líquidos o polvos finos a la parte interna, a través del mismo.

## **Norma Oficial Mexicana NOM-115-STPS-1994, Cascos de protección-especificaciones, métodos de prueba y clasificación.**

### **1. Objetivo y campo de aplicación**

Esta Norma establece los requisitos mínimos, que deben cumplir de acuerdo con su clasificación los cascos de protección a la cabeza, que usan los trabajadores que laboran en áreas en donde están expuestos a impactos, fuego y descargas eléctricas.

### **5.1 Construcción**

5.1.1 Todo casco deberá consistir de una concha de protección y un medio de absorción de energía dentro de ésta. Deberán proveerse los medios para permitir la ventilación necesaria al usuario durante el uso del casco.

5.1.2 Los materiales utilizados que entran en contacto con la cabeza del trabajador serán no irritantes, no tóxicos, ni que puedan llegar a provocar algún tipo de daño al usuario. Asimismo, el diseño será tal que ninguna componente interna presente alguna condición como protuberancias, aristas o vértices agudos, o cualquier otra que pueda causar lesión o incomodidad.

### **5.2 Componentes**

#### **5.2.1 Concha**

La concha no deberá tener protuberancias interiores que puedan lesionar al usuario y el exterior puede tener superficie irregular, como por ejemplo, costillas o nervaduras sobresalientes de bordes romos y configuración simple o múltiple. La superficie debe ser tersa y libre de asperezas.

#### **5.2.2 Tafiote**

El tafiote deberá ser ajustable en incrementos de por lo menos 3.2 mm (1/8 de pulgada) de medida de sombrero (ver Tabla 1). Cuando el tafiote se ajuste al tamaño máximo designado, deberá haber suficiente espacio para proveer ventilación.

#### **5.2.3 Barboquejo y nuquera**

Los tirantes del barboquejo y la nuquera deberán ser de materiales que no causen irritación o algún tipo de daño en el área de contacto de la cabeza del usuario, así como tener un ancho mínimo de 12,7 mm. Los medios de ajuste del barboquejo y la nuquera deben asegurar la retención del casco sobre la cabeza del usuario.

TABLA 1 Medidas de sombrero y su circunferencia

Medida de sombrero		Medida de circunferencia
mm	plg	mm
165.10	6 1/2	520
168.30	6 5/8	530
171.40	6 3/4	540
174.60	6 7/8	550
177.80	7	560
181.00	7 1/8	570
184.10	7 1/4	580
187.30	7 3/8	590
190.50	7 1/2	600
193.70	7 5/8	610
196.80	7 3/4	620
200.00	7 7/8	630
203.20	8	640

#### 5.2.4 Tirantes de la suspensión

Cuando los tirantes de la suspensión sean ensamblados, deberán formar un arnés para soportar el casco en la cabeza del usuario, de tal forma que la distancia entre la parte superior de la cabeza de éste, y el lado interno de la concha no pueda ser ajustado a menos de lo que indiquen los requerimientos del fabricante para ese casco en particular.

#### 5.2.5 Masa (peso)

Cuando la masa del casco completo, excluyendo el barboquejo, sea mayor de 440 g, ésta deberá indicarse en una etiqueta legible e indeleble en la superficie interior del mismo.

### 5.3 Especificaciones técnicas

#### 5.3.1 Impacto

Los cascos, al someterse a un efecto de impacto causado por una bola de acero de  $95 \pm 3$  mm de diámetro y masa de  $3,6 \pm 0,06$  kg en caída libre desde una altura de  $1520 \pm 2,0$  mm deben transmitir una fuerza menor o igual a 4,451 kN (454 kgf) en valor individual y menor o igual de 3,785 kN (386 kgf) en valor promedio, cuando se pruebe de acuerdo a lo indicado en el punto 8.1.4 de la presente Norma.

#### 5.3.2 Penetración

Los cascos, al someterse a un efecto de penetración, causado por una plomada de 454g con punta de acero en ángulo de  $0,610 \pm 0,0174$  rad ( $35 \pm 1$ ) y un radio de curvatura máxima

de 0,25 mm en caída libre desde una altura de 3050 mm deben sufrir una profundidad de penetración menor de 10 mm incluyendo el espesor del casco, cuando se pruebe de acuerdo a lo indicado en el punto 8.1.5 de la presente Norma.

#### 5.3.3 Combustión

Al someterse el casco al efecto de combustión establecido en la prueba indicada en el punto 8.1.6 de la presente Norma, dicha combustión continuada espontáneamente, debe tener como máximo una velocidad de combustión menor de 76 mm/min.

#### 5.3.4 Absorción de agua.

Al someterse el casco sin la suspensión a un efecto de absorción de agua, el porcentaje de absorción debe ser menor o igual de 5% para los cascos de protección clases G y C, y de 0,5% para el casco de protección clase E, cuando se prueben de acuerdo a lo indicado en el punto 8.1.7 de la presente Norma.

#### 5.3.5 Tensión eléctrica soportable

5.3.5.1 Los cascos de protección clase G deben soportar una tensión eléctrica eficaz de 2200 V de C.A. a 60 Hz durante un minuto, permitiendo una corriente de fuga máxima de 3,0 mA, cuando se prueben de acuerdo a lo indicado en el punto 8.1.8 de la presente Norma.

5.3.5.2 Los cascos de protección clase E deben soportar una tensión eléctrica eficaz de 20000 V de C.A. a 60 Hz durante 3 minutos, permitiendo una corriente de fuga máxima de 9,0 mA, cuando se prueben de acuerdo a lo indicado en el punto 8.1.8 de la presente Norma.

#### 5.3.6 Perforación

Los cascos de protección clase E deben soportar una tensión eléctrica eficaz hasta de 30000 V de C.A. a 60 Hz, aplicada en forma gradual, sin sufrir ninguna perforación, cuando se prueben de acuerdo a lo indicado en el punto 8.1.9 de la presente Norma.

**Norma Oficial Mexicana NOM-116-STPS-1994, Seguridad- respiradores purificadores de aire contra partículas nocivas.**

## 1. Objetivo

Establecer las características y requisitos mínimos que deben cumplir los respiradores purificadores de aire contra partículas nocivas presentes en el ambiente laboral.

Finalmente, algunas frases que pueden ayudar a comprender la importancia de la seguridad son:

Organización mundial de la salud (OMS): Considerando que existen condiciones bajo las cuales se realizan trabajos riesgosos es conveniente reglamentar su ejecución con normas y procedimientos para prevenir accidentes que puedan desencadenar muerte e incapacidad permanente.

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN): Riesgo identificado es un peligro potencial controlado. Seguridad e higiene industrial, Nelson González: Lo que no se hace de manera correcta, no se está haciendo de manera segura.





## 12.1 DESARROLLO DE LA LEGISLACIÓN EN MÉXICO. CRITERIOS Y NORMAS

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se establecen las bases normativas referentes al medio ambiente. El desarrollo en torno al derecho ambiental mexicano se puede observar en tres etapas:

- a) Conservación y Regulación de los Recursos Naturales (1917-1970)
- b) Prevención y Control de la Contaminación (1971-1981)
- c) Legislación Ambiental (1982 a la fecha)

Dentro de la última etapa se promulgaron cuatro leyes que actualmente constituyen la base de la normativa para el control de la contaminación:

- a) Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1988)
- b) Ley de Aguas Nacionales (1992 y 2004)
- c) Ley Federal sobre Metrología y Normalización (1992)
- d) Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (1997)

En la Ley de Aguas Nacionales (LAN, 2004), se define una visión moderna y descentralizada de la gestión que considera, entre otros aspectos, lo siguiente:

Se establece que el Ejecutivo Federal favorecerá la descentralización de la gestión de los recursos hídricos y reglamentará por cuenca y acuífero la explotación, uso, aprovechamiento de las aguas nacionales del subsuelo y superficiales (Artículo 5).

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) se constituye como el órgano superior técnico, normativo y consultivo de la Federación. Se organiza en dos modalidades: a nivel nacional y a nivel hidrológico administrativo: organismo de cuenca (Artículo 9.)

La Comisión realizará esas atribuciones contando con los nuevos Organismos de Cuenca, que son en cada región las autoridades del agua. Estos organismos están dotados de autonomía técnica, administrativa y de gestión. (Artículo 12 BIS).

Los Consejos de Cuenca se fortalecen como organismos colegiados de integración mixta, no gubernamentales, coordinados, pero no subordinados a los Organismos de Cuenca, las dependencias y entidades federales, estatales y municipales, para realizar básicamente labores de planeación, programación coordinación y concertación en aspectos específicos de la gestión hídrica (Artículo 13).

Actualmente, el Reglamento de la LAN está en proceso de redacción.

En lo que se refiere a prevención y control de la contaminación, se establece que la CONAGUA ejerce las facultades correspondientes a la Autoridad Federal en materia de prevención y control de la contaminación del agua, de acuerdo con las leyes: LAN y Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) estableció una nueva nomenclatura de normas y nuevos procedimientos para la elaboración de las mismas. Se definen dos tipos de normas:

- a) Normas Mexicanas (NM), normas de referencia que se emiten por los organismos nacionales de normalización.
- b) Normas Oficiales Mexicanas (NOM), de carácter obligatorio, que se expiden por las dependencias competentes.

A las NOM en materia ambiental se encuentra encomendada la determinación de los parámetros dentro de los cuales se garantizan las condiciones necesarias para el bienestar de la población y para asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, es decir si el derecho ambiental tutela como bienes jurídicos a los diversos elementos de la biosfera, las Normas Oficiales Mexicanas determinan hasta donde la actividad perturbadora de la conducta humana puede ser tutelada por dichos bienes sin alterar su equilibrio.

De conformidad con el artículo 62 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, previas invitaciones enviadas por la Presidencia del Instituto Nacional de Ecología a diferentes instituciones, el 17 de diciembre de 1992 se llevó a cabo la constitución del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, como órgano para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas de su competencia. Este comité cuenta con 8 subcomités, uno de los cuales es el de agua.

En el periodo 1993-94 fueron analizadas y aprobadas 44 NOM en materia de control de descargas de aguas residuales y una referente al método para la determinación de Toxicidad Aguda con *Daphnia magna*. Esta normativa abarcó la mayor parte de los sectores industriales en el país.

Las normas publicadas entraban en vigor con diferentes fechas desde 1993 hasta 1995 a medida de su publicación en el DOF, excepto la NOM-067-ECOL-1997, referente a



descargas de aguas residuales municipales a cuerpos receptores, la cual iba a entrar en vigor el 1 de enero de 1997.

Para el control de la contaminación por descargas de aguas residuales existen dos principales métodos:

Control en los cuerpos receptores, fijando Límites Máximos Permisibles (LMP) de los parámetros de calidad del agua en los cuerpos receptores de acuerdo al uso del agua. Control de las descargas, fijando LMP de diferentes parámetros de calidad del agua para las descargas a los cuerpos receptores.

El método de control en los cuerpos receptores ofrece mayores ventajas ya que toma en consideración la contaminación total del cuerpo de agua, permite diseñar los sistemas de tratamiento de acuerdo al uso propuesto del cuerpo receptor y la calidad del agua correspondiente a este uso. Relacionado con esto, el costo del tratamiento es óptimo, no se excede el grado de tratamiento necesario.

La aplicación del método de control en el cuerpo receptor es, sin embargo, más difícil y requiere de más tiempo para implementarlo. Se necesita una amplia red de estaciones de monitoreo y existen dificultades para el control de las descargas al cuerpo receptor.

Para la implementación de este método se necesita realizar estudios preliminares para la clasificación de todos los cuerpos receptores según su uso y después fijar Condiciones Particulares de Descarga (CPD) para cada planta, es decir fijar los LMP del conjunto de parámetros de la calidad del agua que garantiza la calidad requerida en el cuerpo receptor.

Otra desventaja de este método es que para la vigilancia del cumplimiento de las CPD se requiere una buena infraestructura de laboratorios y personal altamente capacitado. Además, todavía no existen instrucciones prácticas respecto a la frecuencia y distancia permisible para el muestreo en condiciones extraordinarias, como por ejemplo en caso de inundaciones, así como para el muestreo en condiciones meteorológicas o geográficas extraordinarias.

Este método permite fijar diferentes valores LMP para las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales de un mismo tipo, de un mismo sector o subsector industrial.

Esto, sin embargo, implica también diferencia en las inversiones para sistemas de tratamiento que las plantas industriales de un mismo giro industrial tienen que realizar, dependiendo del cuerpo receptor a donde las industrias descargan, o sea de su ubicación, la cual no siempre considera solamente factores ecológicos sino también sociales, cercanía a fuentes de materia prima, etc.

El método de control en las descargas es más práctico y fácil de implementar. Los requerimientos respecto a la calidad del agua residual en este caso son iguales independientemente de cual sea el cuerpo receptor. Las descargas son fáciles de controlar y también es fácil de determinar el grado de tratamiento requerido.

La desventaja de este método es que no existe una relación de dependencia entre las características de las aguas residuales y el cuerpo receptor, no se toma en cuenta el flujo del agua en el cuerpo receptor, ni su capacidad de asimilación y autopurificación.

Es posible que en muchas plantas los LMP sean excedidos aun cuando se cumpla con las normas de emisión. Si las restricciones imponen un nivel de tratamiento superior al necesario, el costo de operación de las plantas de tratamiento se hace superior al óptimo.

En México, como en muchos países del mundo, se combinan los dos métodos de control, en los cuerpos receptores y en las descargas. Mediante la red de monitoreo se controlan algunos parámetros de la calidad del agua en las principales cuencas del país. Los estudios para la clasificación de los cuerpos naturales de agua han permitido fijar CPD para una parte de las descargas registradas.

Las CPD, según la LAN y su reglamento las define la CONAGUA. Estas se establecen en los permisos de descarga que se entregan a los usuarios, cuya obligación es cumplir con las especificaciones. Para la protección de los cuerpos receptores que no han sido monitoreados y estudiados detalladamente se aplican las NOM referentes a descargas de aguas residuales.

El paquete de 44 normas en materia de control de la contaminación por descargas de aguas residuales fue elaborado apegándose al método de control en las descargas.

En casos específicos, cuando en un momento dado se demuestre que la capacidad de autopurificación o asimilación de contaminantes en un cuerpo receptor es reducida, o las autoridades federales, estatales o municipales consideren necesario y conveniente para la conservación o mejoramiento de la calidad del agua en determinadas cuencas, los valores máximos permisibles de las NOM pueden ser reducidos mediante su fijación como condiciones particulares de descarga.

La vigilancia del cumplimiento de las restricciones establecidas mediante las CPD y las NOM referentes a descargas corresponde a la CONAGUA. Las sanciones por incumplimiento y el procedimiento para su imposición se establecen en el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.

Los principales criterios que generalmente se usan para determinar los parámetros de control de las descargas de aguas residuales y los límites de las restricciones son:



- a) La calidad requerida del agua en los cuerpos receptores de acuerdo a su uso.
- b) El caudal y las características físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales.
- c) La factibilidad técnica y económica de la tecnología de tratamiento.
- d) El método de disposición (directo o indirecto, sistemas de tratamiento individuales o combinados).
- e) La capacidad de dilución, autopurificación y acumulación de contaminantes persistentes en los cuerpos receptores.

Últimamente, debido a que la calidad en los cuerpos receptores se ha deteriorado grandemente, no se considera su capacidad de autopurificación y se exige que el agua descargada tenga la calidad que se requiere para el cuerpo receptor. En este sentido la normativa a nivel internacional se ha vuelto mucho más estricta que la de hace dos - tres décadas.

Para el caso de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, además de los niveles de los límites máximos permisibles, que especifican las normas, en muchos países se han definido requerimientos mínimos.

En la Tabla 12.1 se presentan los requerimientos mínimos para las descargas de aguas residuales municipales a cuerpos receptores de agua superficiales según U.S. EPA U.S. EPA, 1973; U.S. EPA, 1992). En Alemania, además de las normas de la LAWA, también se han definido requerimientos mínimos para las descargas de aguas residuales tanto domésticas, como industriales a los cuerpos receptores.

En estos requerimientos mínimos se establecen por giros industriales los límites de concentración o carga para los diferentes parámetros o grupos de sustancias que no deben excederse. En la Tabla 12.2 se presentan los requerimientos mínimos de los valores de SS, DQO y DBO<sub>5</sub> para aguas residuales municipales aplicados en la Comunidad Europea (Fresenius *et al.*, 1991).

Los requerimientos están clasificados en tres grupos según la capacidad necesaria de las plantas de tratamiento para procesar el contenido de materia orgánica en las aguas residuales.

Tabla 12.1 Requerimientos mínimos para descargas de aguas residuales municipales a cuerpos receptores según U.S. EPA.

Parámetro	Promedio mensual	Promedio semanal
DBO <sub>5</sub> , mg/L	30	45
SST, mg/L	30	45
pH	6-9	6-9
Coliformes fecales, NMP/100 mL	200	400

Tabla 12.2 Requerimientos mínimos para aguas residuales municipales aplicados en la Comunidad Europea

Clasificación según la capacidad de la planta	Sólidos Sedimentables (SS), mL/L	Demanda química de oxígeno (DQO), mg/L	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ), g/L
Clase 1. 60 kg/d de DBO			
Muestra simple	0.3	-	-
Muestra compuesta a las 2 h	-	180	45
Muestra compuesta a las 24 h	-	120	30
Clase 2. 60-600 kg/d de DBO			
Muestra simple	0.3	-	-
Muestra compuesta a las 2 h	-	160	35
Muestra compuesta a las 24 h	-	110	25
Clase 3. 600 kg/d de DBO			
Muestra simple	0.3	-	-
Muestra compuesta a las 2 h	-	140	30
Muestra compuesta a las 24 h	-	100	20

Las 44 NOM elaboradas en el periodo 1993-1995 consideraron la calidad del agua en los cuerpos receptores de las localidades principales de los diferentes giros industriales, los diagnósticos de los efluentes de los sectores industriales analizados, y la factibilidad técnica de la tecnología de tratamiento convencional aplicable a cada sector. Además de los proyectos de normas, también fueron sometidos los estudios de la factibilidad económica de cada norma a la consideración del Subcomité del Agua.

Para la elaboración y la discusión de las normas fueron utilizados estudios nacionales e internacionales disponibles en el país; literatura especializada en materia de control de contaminación, calidad de agua y tecnología de tratamiento de efluentes industriales; normativa internacional y bases de datos sobre tratabilidad de aguas residuales y remoción de contaminantes específicos, tóxicos orgánicos, metales pesados, etc.

Los tóxicos orgánicos y la toxicidad aguda con *Daphnia magna* fueron incorporados como parámetros de control en el apartado Condiciones Particulares de Descarga como una medida de empezar el control de los contaminantes tóxicos. La lista de los compuestos tóxicos orgánicos más probables en las descargas industriales fue incluida en el texto de la primera norma oficial ecológica como ANEXO.

Como resultado de una fuerte polémica en el Subcomité, se eliminó el parámetro Fósforo Total y el Nitrógeno Total de la “tabla de control por las NOM” para todas las industrias excepto “Producción de fertilizantes”, pasándolos a la lista de parámetros que se pueden

fijar como condiciones particulares de descarga. Se suspendió también el parámetro temperatura de la lista de control de la NOM 001, referente a termoelectricas.

En forma general, las 44 normas elaboradas fueron suficientemente estrictas para garantizar la protección de los cuerpos receptores en términos globales y obligaban la aplicación de tratamiento de las descargas industriales a niveles económicamente aceptables para las industrias, limitaban la descarga de algunos contaminantes específicos y característicos para los efluentes de determinadas industrias, restringían el uso de agua residual sin tratamiento en la agricultura y la descarga de lodos de plantas de tratamiento al alcantarillado municipal.

La calidad necesaria del agua residual municipal en México se reglamentaba en la NOM CCA-067-ECOL-1994. Esta norma establecía dos niveles de la calidad requerida de acuerdo al tamaño de la población, para poblaciones menores y mayores de 80,000 habitantes.

## 12.2 *NORMATIVA VIGENTE*

### 12.2.1 *NOM-001-SEMARNAT-1996*

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

En el año 1996, la Gerencia de Normas, sometió a la consideración del Subcomité de Agua una propuesta de NOM, la cual consideraba el uso del agua en los cuerpos receptores, elemento que no consideraban las normas anteriores. Al igual que en las normas anteriores, se utilizaba el método de control en las descargas, pero los cuerpos receptores se dividen en 10 categorías según su uso y para cada categoría se establece una cierta calidad de las aguas descargadas.

Esta norma fue aprobada y publicada en el DOF el 6 de enero de 1997 como NOM-001-ECOL-1996 (ahora SEMARNAT), entrando en vigor desde el día de su publicación. La NOM-001-ECOL-1996 (ahora SEMARNAT) abrogó las 44 normas anteriores. El punto 1 de las “Especificaciones” de la nueva norma establece que “la concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible de esta Norma Oficial Mexicana” y que “el rango permisible del potencial de hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades”.

En la Tabla 12.3 se presentan los límites máximos permisibles para los contaminantes según la NOM-001-SEMARNAT-1996, considerando las correcciones publicadas en el DOF el 30 de abril de 1997 en “Aclaraciones a la NOM-001-SEMARNAT-1996”. La Tabla

12.4 presenta los valores de los LMP para metales pesados y cianuros, considerando también las correcciones anteriormente mencionadas.

El punto 2 de “Especificaciones” de la NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que “para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales” y que “el límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 NMP/100 mL para el promedio mensual y diario respectivamente”.

El punto 3 de “Especificaciones” de la NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que “para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto” y que “el límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de esta Norma”.

Por definición “riego no restringido” es “la utilización de agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras”. El término “riego restringido” es “la utilización de agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se comen crudas”.

En el punto 5 de “Especificaciones” de la NOM-001-SEMARNAT-1996 se establecen fechas de cumplimiento para descargas de aguas municipales, dependiendo del número de habitantes y para descargas no municipales, dependiendo de la carga contaminante expresada como  $\text{DBO}_5$  ó SST.

Tabla 12.3 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos según NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros	Ríos						Embalses naturales y artificiales				Aguas costeras						Suelo		Humedales naturales	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (a)		Humedales naturales (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura, °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspendedos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

P.M. = Promedio Mensual; P.D. = Promedio Diario; N.A. = No es aplicable; aus. = ausente.

(A), (B), (C) = Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

(1) Instantáneo; (2) Muestra Simple Promedio Ponderado; (3) Ausente según el método de Prueba definido en la NMX-AA-006.



Tabla 12.4 Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros según NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros (*)	Ríos						Embalses naturales y artificiales				Aguas costeras				Suelo Uso en riego agrícola (a)		Humedales naturales (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		P.M.	P.D.
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.		
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(\*) Medidos de manera total.

Tabla 12.5 Fechas de cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 establecidas para las descargas de aguas municipales

Fecha de cumplimiento a partir de:	Rango de población:
1 de enero de 2000	Mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	De 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	De 2,501 a 20,000 habitantes

Tabla 12.6 Fechas de cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 establecidas para las descargas de aguas no municipales

Fecha de cumplimiento a partir de:	Carga contaminante	
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ), T/d	Sólidos suspendidos totales, T/d
1 de enero de 2000	Mayor de 3.0	Mayor de 3.0
1 de enero de 2005	De 1.2 a 3.0	De 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	Menor de 1.2	Menor de 1.2

Como se puede observar el cumplimiento planteado es gradual y progresivo. Las fechas presentadas en la Tabla 12.5 y Tabla 12.6 podrán ser adelantadas por la CONAGUA para algún cuerpo receptor específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide la modificación (punto 6 de “Especificaciones”).

En caso de que actualmente no se cumplan los requerimientos de la NOM-001-SEMARNAT-1996, según el punto 7 de “Especificaciones”, se establecen plazos para presentar programas de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de las descargas por parte de los responsables de las descargas. El plazo establecido para descargas a cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano) que rebasan 5 veces los LMP es de 180 días naturales a partir de su publicación.

En los demás casos, los responsables quedan obligados a presentar los programas de acciones u obras en los plazos que se presentan en la Tabla 12.7 y en la Tabla 12.8.

La NOM-001-SEMARNAT-1996 obliga a los responsables de las descargas a realizar el monitoreo de las mismas para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en el punto 8 de “Especificaciones” (Tabla 12.9 y Tabla 12.10).

Tabla 12.7 Plazos establecidos para que los responsables de las descargas municipales presenten programas de acciones u obras en caso de que se rebasen los LMP que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996

Rango de población	Fecha límite
Mayor de 50,000 habitantes	30 de junio de 1997
De 20,001 a 50,000 habitantes	31 de diciembre de 1998
De 2,501 a 20,000 habitantes	31 de diciembre de 1999

Tabla 12.8 Plazos establecidos para que los responsables de las descargas no municipales presenten programas de acciones u obras en caso de que se rebasen los LMP que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996

DBO <sub>5</sub> y/o SST, T/d	Fecha límite
Mayor de 3.0	30 de junio de 1997
De 1.2 a 3.0	31 de diciembre de 1998
Menor de 1.2	31 de diciembre de 1999

Tabla 12.9 Frecuencia de muestreos y presentación de reportes para descargas de tipo municipal establecida en la NOM-001-SEMARNAT-1996

Rango de población	Frecuencia de muestreo y análisis	Frecuencia de reporte
Mayor de 50,000 habitantes	Mensual	Trimestral
De 20,001 a 50,000 habitantes	Trimestral	Semestral
De 2,501 a 20,000 habitantes	Semestral	Anual

Tabla 12.10 Frecuencia de muestreos y presentación de reportes para descargas de tipo no municipal establecida en la NOM-001-SEMARNAT-1996

DBO <sub>5</sub> T/d	SST T/d	Frecuencia de muestreo y análisis	Frecuencia de reporte
Mayor de 3.0	Mayor de 3.0	Mensual	Trimestral
De 1.2 a 3.0	De 1.2 a 3.0	Trimestral	Semestral
Menor de 1.2	Menor de 1.2	Semestral	Annual

En situaciones que justifiquen un mayor control de la descargas, como protección de fuentes de abastecimiento para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la CONAGUA podrá modificar la periodicidad de muestreos y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un periodo de tres años posteriores a su realización.

En el punto 9 de “Especificaciones” de la NOM-001-SEMARNAT-1996 se establece que el responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en esta norma, cuando demuestre que por las características del proceso productivo o el uso que la da al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la CONAGUA, por escrito y bajo protesta de decir verdad.

La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad, el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

La norma específica también que en el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en la Tabla 12.3 y en la Tabla 12.4, así como del pH y de los parámetros microbiológicos, la suma de esta concentración al LMP promedio mensual, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la CONAGUA (punto 10 de “Especificaciones”).

El punto 11 de “Especificaciones” de la NOM-001-SEMARNAT-1996 se refiere al caso de sistemas de drenaje y alcantarillado combinadas, estableciendo que cuando se presentan aguas pluviales en estos sistemas, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los LMP de la NOM, o en su caso con sus CPD y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la CONAGUA el caudal derivado.

Si como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en los procesos productivos, los contaminantes se concentran en la descarga, y debido a esto se rebasan los límites máximos permisibles, el responsable de la descarga debe solicitar ante CONAGUA se analice el caso para que se le fijen las condiciones particulares de descarga.

En la Tabla 12.11 se presenta una comparación de los niveles de las restricciones que establecía la normativa 1993-1996 y la actual para aguas residuales municipales. Lo avanzado de la normativa actual es que la calidad requerida de las descargas depende del tipo y del uso de los cuerpos receptores.

Referente al control de parámetros, la NOM-001-SEMARNAT-1996 excluyó el control de DQO y SAAM, pero incorporó el control de N y P para algunos tipos de cuerpos receptores.

Se observa que para ríos donde aplica el criterio de protección de la vida acuática y para embalses de uso público - urbano los valores de los LMP para SST y DBO<sub>5</sub> son más bajos que los que se planteaban en la normativa anterior. En este caso se restringe también el

contenido del N y del P en las descargas.

Para ríos de uso público urbano, para embalses de uso en riego agrícola, para aguas costeras en su categoría de estuarios y para uso recreativo, así como para los humedales naturales, se establecieron restricciones similares, ligeramente más laxos, que las que planteaba la normativa anterior.

En el caso de ríos de uso público urbano y para embalses de uso en riego agrícola, se incorporó el control de N y P, pero a niveles tan altos que realmente no implica control de estos elementos para la mayoría de las descargas. En el caso de humedales y aguas costeras para recreación no se incorporó el control de N y P, pero sí para estuarios.

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece valores de los LMP para SST y  $\text{DBO}_5$  tres veces mayores que los de la normativa anterior para ríos de uso en riego agrícola y para aguas costeras de explotación pesquera, navegación y otros usos. Conociendo que más de 70% de los ríos en el país tienen precisamente el uso en riego agrícola, se puede concluir que la normativa actual es mas laxa que la anterior en cuestión de control de contaminación por sólidos, materia orgánica y detergentes.

Sabiendo, además, que la mayor parte de los ríos no tienen alta capacidad de dilución y autpurificación, es más, en la mayor parte del año la única agua que los alimenta es el agua de las descargas de aguas residuales, se puede concluir también que estos ríos se convertirán en canales de aguas residuales de relativamente baja carga, de 150-200 mg/L de SST y  $\text{DBO}_5$ .

Referente al reuso del agua residual tratada para riego agrícola, en la nueva norma se amplió el rango de pH permisible, ya no se controla el contenido de los SST en el agua, ni el contenido de la materia orgánica. Se excluyeron del control el Boro, Fierro, Aluminio, Selenio, Manganeseo y Fluoruros. Se incorporó el control del contenido de mercurio.

Con respecto al control microbiológico la normativa anterior planteaba las restricciones con respecto a Coliformes Fecales y Huevos de Helmintos dependiendo del tipo de cultivos que se someten al riego, teniéndose 4 tipos de cultivos. La NOM-001-SEMARNAT-1996 estableció el nivel de las restricciones para los Coliformes Fecales a 2,000 NMP/100 mL como P.D. y a 1,000 NMP/100 mL como P.M. Para los Huevos de Helmintos se definen dos categorías: riego restringido (todo, menos legumbres y verduras que se comen crudas) con LMP de 5 H.H. y riego no restringido (todo) con LMP de 1 H.H.



Tabla 12.11 Comparación de los niveles de los LMP de la normativa 1993-1996 y la NOM actual, referente a las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores

Parámetros (Mg/l, excepto cuando se especifique)	Nom- cca-067- ecol/1993	Ríos			Embalses naturales y artificiales		Aguas costeras			Humedales naturales
		Uso en riego agrícola (a)	Uso público urbano (b)	Protección vida acuática (c)	Uso en riego agrícola (b)	Uso público urbano (c)	Explotación pesquera, navegación y otros usos (a)	Recreación (b)	Estuarios (b)	
SST	50-100	150	75	40	75	40	150	75	75	75
		200	125	60	125	60	200	125	125	125
DBO5	50-100	150	75	30	75	30	150	75	75	75
		200	150	60	150	60	200	150	150	150
DQO	100-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grasas y Aceites	10-20	15	15	15	15	15	15	15	15	15
		25	25	25	25	25	25	25	25	25
SAAM	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno Total	-	40	40	15	40	15	N.A.	N.A.	15	N.A.
Fósforo Total	-	60	60	25	60	25	N.A.	N.A.	25	N.A.
		20	20	5	20	5	N.A.	N.A.	5	N.A.
		30	30	10	30	10	N.A.	N.A.	10	N.A.
Col. Fecales, NMP / 100 mL	-	1,000-2,000								

### 12.2.2 NOM-002-SEMARNAT-1996

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

La norma que establecía los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado durante el periodo 1993-1997, fue la NOM-031-ECOL-1993. Debido a “obstáculos de carácter técnico” en su aplicación, esta fue sometida a análisis por parte del INE (Instituto Nacional de Ecología), en coordinación con la CONAGUA, con autoridades locales y con los diversos sectores involucrados en su cumplimiento, llegándose a la conclusión de que “era necesario reformular la norma, tomando en consideración puntos de vista socio-económicos, la infraestructura existente de los sistemas de alcantarillado, la determinación de parámetros prioritarios, el tamaño de poblaciones y la compatibilidad con otras normas en la materia, y que las disposiciones establecidas sean operativas y su cumplimiento sea gradual y progresivo” (DOF, 9 de enero de 1997).

El proyecto de la nueva norma, NOM-002-SEMARNAT-1996 fue publicado en el DOF el 9 de enero de 1997 a fin de que los interesados en un plazo de 90 días presenten sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización. Las respuestas a los comentarios se publicaron en el DOF el 3 de abril de 1998, poco más tarde se publicó la NOM-002-SEMARNAT-1996, el 3 de junio de 1998, a partir de entonces esta norma entró en vigor y abrogó la anterior NOM-CCA-031-ECOL/1993.

El punto 1 de “Especificaciones” establece los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal (Tabla 12.12). Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

Los límites máximos permisibles establecidos en la columna instantánea, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

Los puntos 3, 4 y 5 de “Especificaciones” se refieren a las restricciones con respecto al pH, la temperatura y la materia flotante:

El rango permisible de pH en las descargas de aguas residuales es de 10 a 5.5 unidades, determinando para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

Tabla 12.12 Límites máximos permisibles para contaminantes según NOM-002-SEMARNAT-1996

Parámetros (mg/L, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mL/L)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C, medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema.

La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales. Este parámetro se determina de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006.

En los puntos 6 y 7 de “Especificaciones” se establece que los límites máximos permisibles para los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 (Tabla 8.3) o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga municipal.

El responsable de una descarga que no dé cumplimiento a lo anterior, podrá optar por remover la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, mediante el tratamiento conjunto de las aguas residuales en la planta municipal, para lo cual deberá de presentar a la autoridad competente un estudio de viabilidad que asegure que no se generará un perjuicio al sistema de alcantarillado urbano o municipal. Sufragar los costos de inversión, cuando así se requiera, así como los de operación y mantenimiento que le correspondan de acuerdo con su caudal y carga contaminante de conformidad con los ordenamientos jurídicos locales aplicables.

El punto 8 de “Especificaciones” prohíbe descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación vigente en la materia.

A continuación se establece que la autoridad competente podrá fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, de manera individual o colectiva, donde se especificarán:

- Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes.
- Límites máximos permisibles para parámetros adicionales no contemplados en esta Norma.

Dicha acción deberá estar justificada por medio de un estudio técnicamente sustentado, presentado por la autoridad competente o por los responsables de la descarga.

El punto 10 de “Especificaciones” se refiere a la frecuencia de muestreo de las descargas. Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, se obtendrán de análisis de muestras compuestas que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas estas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo (Tabla 12.13).

Tabla 12.13 Frecuencia de muestreo de las descargas al alcantarillado según NOM-002-SEMARNAT-1996

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo máximo entre toma de muestras simples (horas)	
		Mínimo	Máximo
Menor que 4	Mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMS_i = VMS * \frac{Q_i}{Q_t}$$

Donde:

$VMS_i$  = volumen de cada una de las muestras simples “i”, en litros.

$VMC$  = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, en litros.

$Q_i$  = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

$Q_t = \sum Q_i$  hasta  $Q_n$ , L/s.

En el caso de que el periodo de operación del proceso o realización de la actividad generadora de la descarga, esta no se presente en forma continua, el responsable de dicha descarga deberá presentar a consideración de la autoridad competente la información en la que se describa su régimen de operación y el programa de muestreo para la medición de los contaminantes.

El cumplimiento de la NOM-002-SEMARNAT-1996 es gradual y progresivo, conforme al rango de población, tomando como referencia el XI Censo General de población y Vivienda, 1990. En el punto 11 de las “Especificaciones” se establecen las fechas de cumplimiento de los LMP de esta norma (Tabla 12.14).

Tabla 12.14 Fechas de cumplimiento de los LMP que establece la NOM-002-SEMARNAT-1996

Fecha de cumplimiento a partir de:	Rango de población:
1 de enero de 1999	Mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2004	De 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2009	De 2,501 a 20,000 habitantes

Estas fechas de cumplimiento pueden ser modificadas por la autoridad competente, cuando:

- El sistema de alcantarillado urbano o municipal cuente con una o varias plantas de tratamiento en operación y la o las descargas causen efectos nocivos a la misma, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente, en un plazo no mayor de 180 días a partir de la fecha de publicación de esta Norma, un programa de acciones en el cual se establezca en tiempo y forma el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana.
- La autoridad competente, previa a la publicación de esta Norma, haya suscrito formalmente compromisos financieros y contractuales para construir y operar la o las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales



- La Comisión Nacional del Agua oficialmente establezca emergencias hidroecológicas o prioridades en materia de saneamiento, y en consecuencia se modifique la fecha de cumplimiento establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, referida en el punto 2 de esta Norma, para su descarga correspondiente.
- Exista previo a la publicación de esta Norma, reglamentación local que establezca fechas de cumplimiento para los responsables de las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- Cuando la autoridad competente determine modificar las fechas de cumplimiento, deberá notificarlo a los responsables de las descargas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, conforme a los procedimientos legales locales correspondientes.

A continuación, se presentan algunas disposiciones reglamentarias que establece el capítulo de “Especificaciones” de la NOM-002-SEMARNAT-1996:

Los responsables de las descargas tienen la obligación de realizar los análisis técnicos de las descargas de aguas residuales, con la finalidad de determinar el promedio diario o el promedio mensual, analizando los parámetros señalados en la Tabla 12.12. Asimismo, deben conservar sus registros de análisis técnicos por lo menos durante tres años posteriores a la toma de muestras.

El responsable de la descarga podrá quedar exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en esta Norma, cuando se demuestre a la autoridad competente que, por las características del proceso productivo, actividades que desarrolla o el uso que le de al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la autoridad competente, por escrito y bajo protesta de decir verdad.

La autoridad competente podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el responsable. En caso de falsedad, el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

El responsable de la descarga, en los términos que lo establezca la legislación local, queda obligado a informar a la autoridad competente, de cualquier cambio en sus procesos productivos o actividades, cuando con ello modifique la calidad o el volumen del agua residual que le fueron autorizados en el permiso de descarga correspondiente.

El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implantar o haber implantado un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la

autoridad competente se analice su caso particular, a fin de que esta le fije condiciones particulares de descarga. En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio diario mensual de los parámetros referidos en la Tabla 12.13, la suma de esta concentración al límite máximo permisible correspondiente, es el valor que el responsable de la descarga esta obligado a cumplir, siempre y cuando lo demuestre y notifique por escrito a la autoridad competente.

### 12.2.3 *NOM-003-SEMARNAT-1997*

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

El proyecto de esta norma fue publicado en el DOF el 14 de enero de 1998, a fin de que los interesados presenten sus comentarios, como lo establece la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Los comentarios fueron analizados en el seno del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la protección Ambiental, realizándose modificaciones procedentes a la norma y el 14 de agosto de 1998, las respuestas y los comentarios fueron publicados en el DOF.

Habiéndose cumplido el procedimiento de elaboración de normas oficiales mexicanas, el citado Comité aprobó la NOM-003-SEMARNAT-1997 el 22 de abril de 1998 y esta fue publicada en el DOF el 21 de septiembre de 1998, fecha cuando entró en vigor.

Dentro de las definiciones de conceptos que maneja esta norma, los relacionados con las formas de reuso son los que a continuación se presentan:

Lago artificial recreativo. Vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas con acceso al público para paseos en lancha, prácticas de remo y canotaje donde el usuario no tenga contacto directo con el agua.

Lago artificial no recreativo. Vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas que sirve únicamente de ornato, como lagos en campos de golf y parques a los que no tiene acceso el público.

Reuso en servicios al público con contacto directo. Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta NOM se consideran los siguientes reusos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

Servicios al público con contacto indirecto u ocasional. Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental con ella y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia.

En lo que corresponde a esta NOM se consideran los siguientes reusos: riego de jardines y camellones de autopistas; camellones en avenidas; fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

En el punto 1 de “Especificaciones” de la NOM-003-SEMARNAT-1997 se presentan los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas destinadas para servicios al público con contacto directo y para servicios con contacto indirecto u ocasional (Tabla 12.15).

Al igual que en la norma anterior, se establece que la materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, y que la determinación de este parámetro se debe de realizar de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006.

Tabla 12.15 Límites máximos permisibles para contaminantes según NOM-003-SEMARNAT-1997

Tipos de reúso	Promedio mensual				
	Coliformes fecales NMP/100 mL	Huevos de helminto (h/L)	Grasas y aceites m/L	DBO <sub>5</sub> 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

El control de metales y cianuros en las aguas residuales tratadas reusadas en servicios al público, según el punto 3 de “Especificaciones” de la NOM-003-SEMARNAT-1997, debe realizarse considerando los LMP establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (Tabla 12.5).

Finalmente la NOM-003-SEMARNAT-1997 reglamenta que las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reúsen 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.

Con respecto al muestreo de las aguas tratadas para reuso, se establece que los responsables del tratamiento y reuso de las aguas residuales tratadas, tienen la obligación de realizar los muestreos de acuerdo con la NMX-AA-003. La periodicidad y número de muestras será:

Para los coliformes fecales, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y grasas y aceites, al menos 4 (cuatro) muestras simples tomadas en días representativos mensualmente. Para los huevos de helminto, al menos dos muestras compuestas tomadas en días representativos mensualmente. Para los metales pesados y cianuros, al menos dos muestras simples tomadas en días representativos anualmente.

En el capítulo “métodos de prueba” de la NOM-003-SEMARNAT-1997, se establece que para determinar 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 (Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva por el método de filtración en membrana), 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 y Recursos Naturales, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, estos 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 de esta Norma.

Como referencia y para fines comparativos, a continuación se presentan las directrices de OMS con respecto a la calidad del agua tratada para reuso recreativo (Tabla 12.16) y para reusos municipales no potables tales como lavado de calles y coches, riego de áreas verdes urbanas (Tabla 12.17).

Se observa que en la categoría “con contacto directo”, las restricciones de la NOM-003-SEMARNAT-1997 con respecto a coliformes fecales,  $\text{DBO}_5$  y SST son similares a los planteados por la OMS para reuso recreativo, sin embargo la NOM permite hasta 15 mg/L de G y A, mientras que las directrices marcan la necesidad de remover completamente las grasas y aceites, la NOM no considera los parámetros pH y temperatura, nitrógeno y fósforo, olor y color que si están incluidos en las recomendaciones de OMS.

Además, para reuso municipal no potable, con o sin contacto directo, las recomendaciones de la OMS indican una calidad mas estricta, mientras que la NOM no hace la diferencia entre reuso recreativo con contacto directo y reuso municipal con contacto directo.

Tabla 12.16 Directrices de OMS para reuso recreativo

Parametros	Con contacto directo	Sin contacto directo prolongado
Patógenos	Coliformes Fecales < 200 NMP/100 mL	Coliformes Totales < 5,000 NMP/100 mL
Sustancias Tóxicas	Ausente	Ausente
pH	7.4 (6-9)	6-9
Olor y Color	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables	Ausente	Ausente
Materia Flotante	Ausente	Ausente
G y A	Ausente	Ausente
SST	<20	<30
DBO <sub>5</sub>	<20	<30
DQO	<30	<60
Ntotal	Ausente	-
Fosfatos	0.2	-
Temperatura	15-35 °C	-

Tabla 12.17 Directrices de OMS para reusos municipales no potables (lavado de calles y coches, riego de áreas verdes urbanas)

Parámetros	Con y sin contacto directo
Patógenos	Coliformes Fecales <2.2 NMP/100 mL
SST	<15 mg/L
DBO <sub>5</sub>	<20 mg/L
G y A	Ausente
SDT	1,200 mg/L*

\* = puede ser mas estricto, dependiendo del pasto.

En la Tabla 12.18 se presentan las restricciones con respecto a la calidad del agua residual tratada para reuso recreativo. Se observa que la normativa es mucho más estricta, tanto en el aspecto físico-químico, como en el microbiológico para el reuso con y sin contacto directo.

Aquí se introduce una nueva categoría de reuso recreativo, contacto no permitido. La calidad del agua que se plantea para este último coincide con la NOM-003-



SEMARNAT-1997, a excepción de que están incluidos además los parámetros pH y cloro residual. En EUA la calidad que se exige para reuso municipal coincide con la de reuso recreativo con y sin contacto directo.

Como se puede ver de la Tabla 12.18, las restricciones son muy estrictas, plantean la completa ausencia de coliformes fecales, e incluyen el control de los parámetros pH, turbiedad y cloro residual.

Tabla 12.18 Normativa de EUA para uso recreativo con y sin contacto directo

Parámetros	Con y sin contacto directo	Contacto no permitido
Patógenos	Coliformes Fecales No Detectables	Coliformes Fecales < 200 NMP/100 mL
pH	6-9	6-9
SST	-	<30 mg/L
DBO5	<10 mg/L	<30 mg/L
Turbiedad	<2 UTN	-
Cloro Residual	1 mg/L	1 mg/L



La normatividad mexicana en materia de lodos residuales se ha ido transformando y consolidando debido a la creciente necesidad de dar solución a la problemática de su manejo y disposición.

El gobierno federal ha emprendido diversas acciones, una de las más interesantes debido a que puede cambiar el enfoque que se tiene sobre el manejo de lodos residuales, es la relativa a la formulación de una normatividad, dirigida a rescatar a los lodos residuales municipales de la clasificación de residuos peligrosos y darles una nueva definición de biosólidos, con la que se pretende dar aprovechamiento a estos residuos. Se incluye también en la normatividad, lodos provenientes de desazolve de alcantarillado y lodos de potabilizadoras, aunque es controversial la consideración de estos desechos como biosólidos. La normatividad de los residuos peligrosos también se ha transformado para dar un nuevo ordenamiento a estos desechos y simplificar el trámite para los generadores de estos residuos.

Las principales normas vigentes y relativas al manejo de lodos residuales se enlistan en la Tabla 13.1. La NOM-052-SEMARNAT-2005, se aplica de manera opcional, cuando hay duda de que el lodo por la concentración de contaminantes pueda estar dentro de la categoría de residuos peligrosos. En el caso del lodo sólo se analizan las características de Corrosividad, Reactividad, Inflamabilidad y Toxicidad. Si en el tren de tratamiento hay una etapa de encalado, entonces la muestra se toma antes.

Tabla 13.1 *Leyes y normas relativas al manejo de lodos residuales*

Denominación	Observaciones	Fecha de expedición o renovación
Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002	Trata sobre lodos y biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Incluye no sólo los lodos residuales generados en las plantas de tratamiento, sino también los provenientes de los desazolves de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal y de las plantas potabilizadoras.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto de 2003.

Denominación	Observaciones	Fecha de expedición o renovación
N O M - 0 5 2 - SEMARNAT-2005	Establece el procedimiento para identificar que un residuo es peligroso el cual incluye los listados de los residuos peligrosos y las características que hacen que se consideren como tales.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el viernes 23 de junio de 2006

Fuente: DOF, 2003 y DOF, 2005.

### 13.1 Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002

La NOM-004-SEMARNAT-2002 trata sobre lodos y biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Incluye no sólo los lodos residuales generados en las plantas de tratamiento, sino también los provenientes de los desazolves de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal y de las plantas potabilizadoras.

El proyecto de norma se publicó en el diario oficial el 18 de febrero del 2002. La respuesta a comentarios se hizo también a través del diario oficial el 18 de junio de 2003, su publicación oficial como norma se hizo en el diario oficial el viernes 15 de agosto de 2003.

El primer paso en la aplicación de esta norma es que los generadores de biosólidos deben controlar la atracción de vectores, lo cual se logra con una reducción de sólidos volátiles por lo menos del 38%. En el Anexo I de dicha norma se presentan varias alternativas de tratamiento para alcanzar este propósito. En la Tabla 13.2 se muestra un resumen de estos tratamientos.

Tabla 13.2 *Opciones tecnológicas para la reducción de atracción de vectores*

Opción	Especificaciones
1	<p><b>Reducción en el contenido de sólidos volátiles</b></p> <p>La atracción de vectores se reduce si la masa de sólidos volátiles en los biosólidos es reducida por lo menos un 38% durante su tratamiento. Este porcentaje es equivalente al conseguido mediante digestión aeróbica o anaeróbica más alguna reducción adicional que ocurra después de que los biosólidos salen de las instalaciones de estabilización, tales como el procesamiento en lechos de secado o lagunas o mediante el composteo.</p>

2	<p><b>Digestión adicional de los biosólidos digeridos anaeróbicamente</b></p> <p>Frecuentemente, los biosólidos han sido reciclados a través del tratamiento biológico de las aguas residuales o han transitado durante largos periodos por los sistemas de alcantarillado. Durante este tiempo, sufren una degradación biológica sustancial. Si los biosólidos son subsecuentemente tratados mediante digestión anaerobia, su atracción de vectores será reducida adecuadamente. Debido a que ingresan al digestor, parcialmente estabilizados, la reducción de sólidos volátiles después del tratamiento frecuentemente es menor de 38%. Bajo estas circunstancias, pudiera no ser factible la reducción de 38% requerida en la opción 1. La opción 2 permite al operador demostrar la reducción de atracción de vectores probando una porción de los biosólidos previamente digeridos en una unidad a escala de laboratorio. Se demuestra la reducción, si después de la digestión anaerobia de los biosólidos por 40 días adicionales, a una temperatura entre 30°C y 37°C, la reducción de los sólidos volátiles en los biosólidos es menor de 17%.</p>
3	<p><b>Digestión adicional de los biosólidos digeridos aeróbicamente</b></p> <p>Esta opción es apropiada para los biosólidos digeridos aeróbicamente que no pueden cumplir con la opción 1, incluye a aquellos producidos por plantas de aeración extendida donde el tiempo mínimo de residencia para los biosólidos en el tren de aguas generalmente excede de 20 días. En estos casos, los biosólidos ya estarán sustancialmente degradados antes de la digestión aerobia. Bajo esta opción, se considera que los biosólidos digeridos aeróbicamente con 2% de sólidos o menos, han logrado la reducción de atracción de vectores si después de 30 días de digestión aerobia en una prueba de laboratorio a 20°C, la reducción de los sólidos volátiles es menor de 15%. Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos líquidos digeridos aeróbicamente.</p>
4	<p><b>Procesos aerobios a más de 40°C</b></p> <p>Esta opción se aplica primordialmente a los biosólidos composteados que también contienen agentes abultadores orgánicos parcialmente descompuestos. Los biosólidos deben ser tratados aeróbicamente por 14 días o más, tiempo durante el cual la temperatura deberá rebasar siempre los 40°C y el promedio será mayor de 45°C. Esta opción pudiera aplicarse a otros procesos aeróbicos, tales como la digestión aeróbica, sin embargo, las opciones 3 y 4 parecen más fáciles de cumplir para los otros procesos aeróbicos.</p>
5	<p><b>Adición de materia alcalina</b></p> <p>Se considera que los biosólidos reducen adecuadamente su atracción de vectores si se adiciona suficiente materia alcalina para lograr lo siguiente: Elevar el pH por lo menos hasta 12, medido a 25°C, y sin añadir más materia alcalina, mantenerlo por 2 horas, y mantener un pH de al menos 11,5 sin la adición de más materia alcalina durante otras 22 horas. Estas condiciones tienen la intención de asegurar que los biosólidos puedan ser almacenados por lo menos durante varios días en las instalaciones de tratamiento, transportados y posteriormente aplicados sin que el pH descienda a niveles en los que ocurre la putrefacción y se atraen vectores.</p>



6	<p><b>Reducción en la humedad de biosólidos que no contienen sólidos sin estabilizar</b></p> <p>Se considera que la atracción de vectores se reduce si los biosólidos no contienen sólidos sin estabilizar generados durante el tratamiento primario y su contenido de sólidos es por lo menos del 75% antes de ser mezclados con otros materiales. Por consiguiente, la reducción debe lograrse removiendo agua y no mediante la adición de materiales inertes. Es importante que los biosólidos no contengan sólidos sin estabilizar porque los desechos de comida parcialmente degradados que seguramente existen en tales biosólidos atraerían a pájaros, algunos mamíferos y posiblemente a insectos aun si el contenido de sólidos es mayor del 75%.</p>
7	<p><b>Reducción en la humedad de biosólidos que contienen sólidos no estabilizados</b></p> <p>Se considera que la habilidad para atraer vectores de cualesquier biosólido se reduce adecuadamente si su contenido de sólidos se incrementa al 90% o más sin importar si se trata de biosólidos provenientes del tratamiento primario. El incremento debe conseguirse removiendo agua y no mediante la dilución con sólidos inertes. El secado hasta este punto limita severamente la actividad biológica y destroza o descompone los compuestos volátiles que atraen vectores. La manera en que se manejan los biosólidos secos, incluyendo su almacenamiento antes de la aplicación puede propiciar la atracción de vectores. Si éstos se exponen a una humedad alta, la superficie exterior tendrá un alto contenido de humedad y posiblemente atraerá vectores. Esto debe ser prevenido adecuadamente.</p>
8	<p><b>Tasa específica de absorción de oxígeno (TEAO) para biosólidos digeridos aeróbicamente</b></p> <p>Frecuentemente, los biosólidos digeridos aeróbicamente son recirculados a través de los procesos biológicos de tratamiento aeróbico de las aguas residuales hasta por 30 días. En estos casos, los biosólidos que entran al digestor aeróbico ya están parcialmente digeridos, lo cual dificulta cumplir con la Opción 1. La Tasa Específica de Absorción de Oxígeno (TEAO) es la masa de oxígeno consumida por unidad de tiempo y por unidad de masa en peso seco de los sólidos totales de los biosólidos. La reducción en la atracción de vectores puede demostrarse si la TEAO de los biosólidos que son aplicados, determinada a 20°C, es igual o menor de 1,5 mg de O<sub>2</sub>/h/g de sólidos totales (peso seco).</p> <p>Esta prueba se basa en el hecho de que, si los biosólidos consumen muy poco oxígeno, su valor como fuente alimenticia para los microorganismos es muy baja como para atraerlos. Se pueden utilizar otras temperaturas para la prueba si los resultados se corrigen sobre la base de 20°C. Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos aeróbicos.</p>
9	<p><b>Incorporación de biosólidos al suelo</b></p> <p>Los biosólidos deben ser incorporados al suelo dentro de las 6 horas posteriores a su aplicación sobre el terreno. La incorporación se consigue arando o mediante algún otro método que mezcle los biosólidos con el suelo. Si los biosólidos son Clase A con respecto a patógenos, el tiempo entre la aplicación y el procesado no debe exceder de 8 horas.</p>

Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana los biosólidos se clasifican por tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos. Para llevar a cabo esta clasificación se establecen en esta norma los límites máximos permisibles de metales pesados, patógenos y parásitos como se muestra en las Tabla 13.3 y Tabla 13.4.

Tabla 13.3 Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos

Contaminante (determinados en forma total)	Excelentes mg/kg en base seca	Buenos mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

Tabla 13.4 *Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos*

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
nbsp;	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
<b>A</b>	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
<b>B</b>	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
<b>C</b>	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

(b) NMP número más probable

El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la Tabla 13.5 y su contenido de humedad hasta el 85% por lo que se requiere de acondicionar el lodo con un tratamiento de deshidratación.

Tabla 13.5 Aprovechamiento de biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación Los establecidos para clase B y C
Excelente o bueno	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación Los establecidos para clase C
Excelente o bueno	C	Usos forestales Mejoramientos de suelos Usos agrícolas

Se aclara que la aplicación de los biosólidos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos se sujetará a lo establecido en la Ley Federal de Sanidad Vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia. Para la disposición final de los lodos y biosólidos, éstos deben cumplir con la especificación del trámite de No Peligrosidad y con los límites máximos permisibles para el contenido de los indicadores de contaminación, patógenos y parásitos especificados, para clase C.

En la norma se establece que los sitios para la disposición final de lodos y biosólidos, serán los que autorice la autoridad competente, conforme a la normatividad vigente en la materia. Esta norma permite que los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana, pueden ser almacenados hasta por un periodo de dos años, sólo exige que el predio en el que se almacenen debe ser habilitado para que no existan infiltraciones al subsuelo y contar con un sistema de recolección de lixiviados.

La norma también proporciona una estrategia para el muestreo y análisis de los biosólidos. Para el muestreo y determinación de los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma, se deben aplicar los métodos de prueba que se citan en los anexos II, III, IV, V y VI. La frecuencia de muestreo y análisis para los lodos y biosólidos se realizará en función del volumen de lodos generados como se establece en la Tabla 13.6.

Tabla 13.6 Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos

Volumen generado por año (Ton/ Año) en base seca	Frecuencia de muestreo y análisis	Parámetros a determinar
Hasta 1,500	Una vez al año	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 1,500 hasta 15,000	Una vez por semestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 15,000	Una vez por trimestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, así como a los gobiernos estatales, municipales y del Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, sus reglamentos y demás ordenamientos jurídicos aplicables. Además estos, en el ámbito de su respectiva competencia, llevarán a cabo de manera periódica o aleatoria los muestreos y análisis de los lodos y biosólidos, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana.

### **13.2 Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005**

Esta norma comprende el procedimiento que establece las características, identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Ayudan a definir si un residuo es peligroso o no. En esta norma se establecen las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria en la definición y clasificación de residuos peligrosos. Fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de junio de 2006. Abroga la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993, Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de junio de 2006. Tiene como referencias las siguientes normas:

**NOM-004-SEMARNAT-2002**, Protección Ambiental.-Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, publicada el 15/VIII/2003.

**NOM-053-SEMARNAT-1993**, Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, publicada el 22/X/1993, la cual ha cambiado de nomenclatura en dos ocasiones, la primera, por el Acuerdo Secretarial publicado el 29/XI/1994, siendo modificada a NOM-053-ECOL-1993 y, la segunda, por el Acuerdo emitido en el mismo órgano de difusión el 23/IV/2003, quedando con el nombre que aparece al inicio de esta cita.

**NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002**, Protección ambiental-Salud ambiental-Residuos peligrosos biológico-infecciosos-Clasificación y especificaciones de manejo, publicada el 17/II/2003, la cual cambió de nomenclatura por el Acuerdo Secretarial publicado el 23/IV/2003, quedando con el nombre que aparece al inicio de esta cita.

**NOM-133-SEMARNAT-2000**, Protección Ambiental-Bifenilos Policlorados (BPC's)-Especificaciones de manejo, publicada el 10/XII/2001, la cual cambió de nomenclatura por el Acuerdo Secretarial publicado el 23/IV/2003, quedando con el nombre que aparece al inicio de esta cita.

**NOM-138-SEMARNAT/SS-2003**, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación, publicada el 29/III/2005.

**NOM-141-SEMARNAT-2003**, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales, publicada el 13/IX/2004.

**NOM-002-SCT-2003**, Listado de las Substancias y Materiales Peligrosos más usualmente transportados, publicada el 3/XII/2003.

### **13.2.1** *PROCEDIMIENTO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES*

Los encargados del manejo de los lodos tienen que demostrar que éstos no presentan ninguna de estas características de acuerdo al procedimiento descrito en la Figura 13.1.

Un residuo es peligroso si se encuentra en alguno de los siguientes listados:

- Listado 1 : Clasificación de residuos peligrosos por fuente específica.
- Listado 2 : Clasificación de residuos peligrosos por fuente no específica.
- Listado 3 : Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (Tóxicos Agudos).
- Listado 4 : Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (Tóxicos Crónicos).
- Listado 5 : Clasificación por tipo de residuos, sujetos a Condiciones Particulares de Manejo.

Las toxicidades aguda y crónica referidas en los listados 1, 2, 3 y 4 de esta NOM no están contempladas en los análisis a realizar para la determinación de las características CRIT de peligrosidad en los residuos.

El Anexo 1 de esta NOM contiene las bases para listar residuos peligrosos por “Fuente Específica” y “Fuente No Específica”, en función de sus toxicidades ambiental, aguda o crónica.



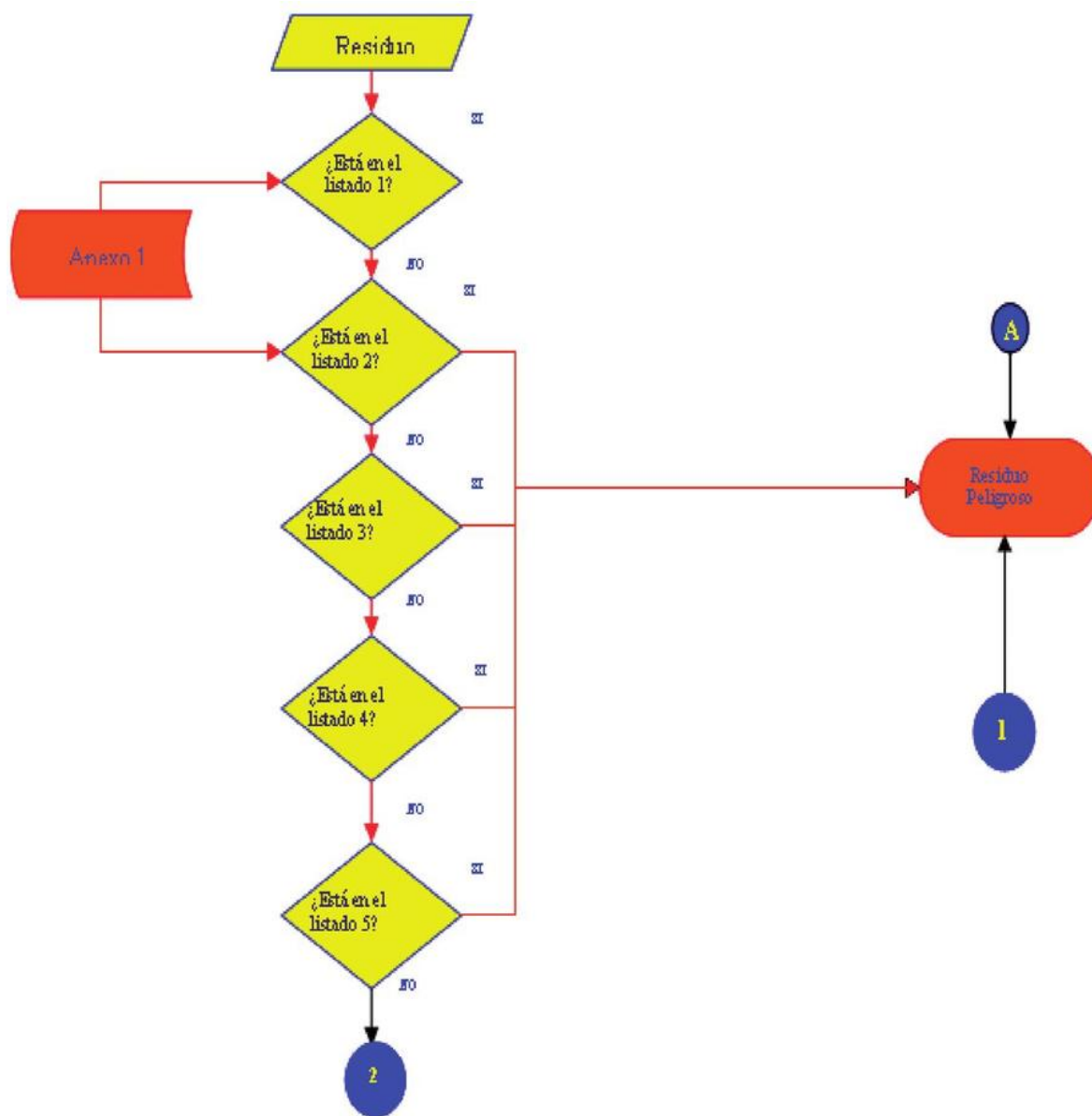


Figura 13.1 (a). Diagrama de flujo del procedimiento para identificar la peligrosidad de un residuo (listados y caracterización)

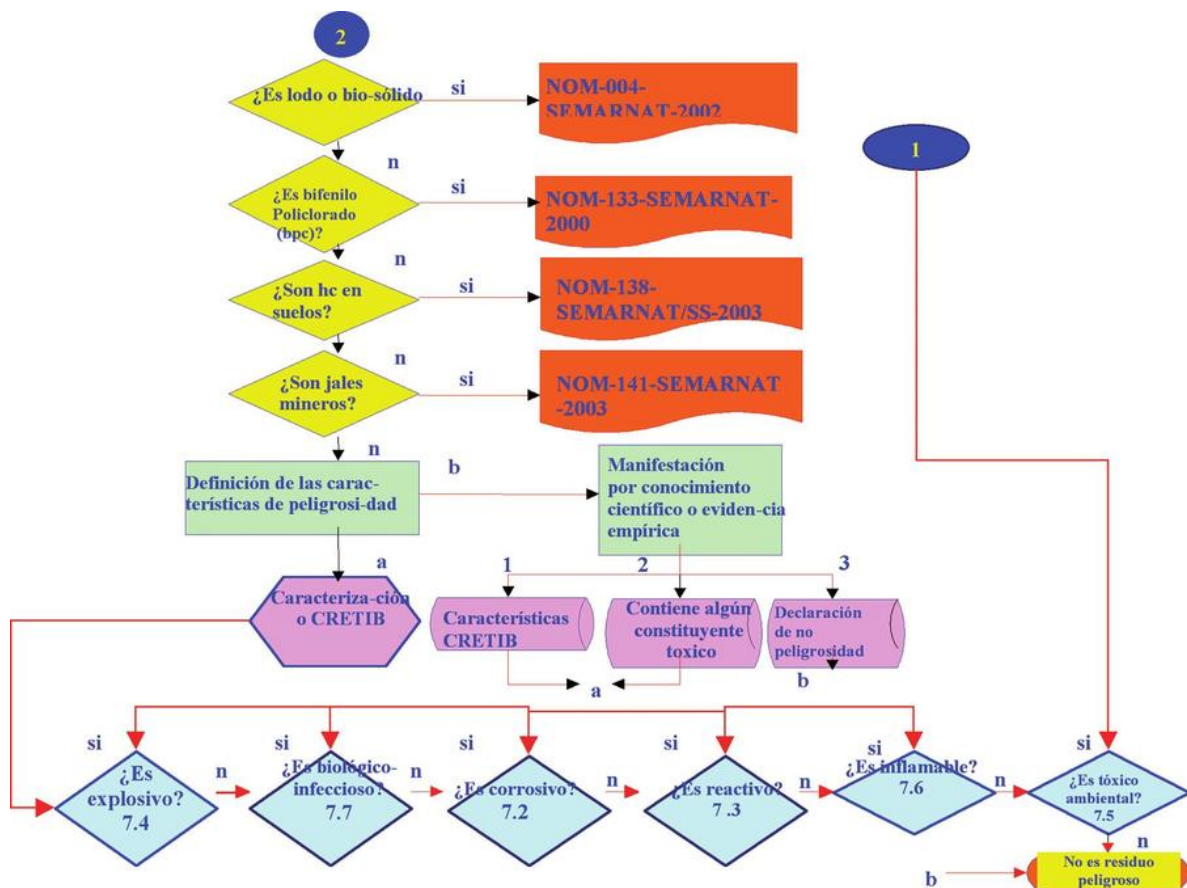


Figura 13.2 (b). Diagrama de flujo del procedimiento para identificar la peligrosidad de un residuo (listados y caracterización)

Si el residuo no se encuentra en ninguno de los Listados del 1 al 5, si son lodos y biosólidos están regulados por la NOM-004-SEMARNAT-2002, si son bifenilos policlorados (BPC's) están sujetos a las disposiciones establecidas en la NOM-133-SEMARNAT-2000, si se tratan de suelos contaminados, se sujetan a los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y están definidos en la NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Los jales mineros se rigen bajo las especificaciones incluidas en la NOM-141-SEMARNAT-2003.

Si el residuo no está listado o no cumple con las particularidades establecidas anteriormente se deberá definir si es que éste presenta alguna de las características de peligrosidad analizadas con las pruebas CRIT de los residuos, junto con la determinación de las características de explosividad y biológico-infeccioso.

Se tendrá que llevar a cabo la manifestación basada en el conocimiento científico o la evidencia empírica sobre los materiales y procesos empleados en la generación del residuo en los siguientes casos:

- Si el generador sabe que su residuo tiene alguna de las características de peligrosidad establecidas en esta norma.
- Si el generador conoce que el residuo contiene un constituyente tóxico que lo hace peligroso.
- Si el generador declara, bajo protesta de decir verdad, que su residuo no es peligroso.

El residuo es peligroso si presenta al menos una de las siguientes características:

**Corrosividad.** Es corrosivo cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Es un líquido acuoso y presenta un pH menor o igual a 2,0 o mayor o igual a 12,5 de conformidad con el procedimiento que se establece en la norma mexicana (NMX) correspondiente.
- Es un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un pH menor o igual a 2,0 o mayor o igual a 12,5 según el procedimiento que se establece en la NMX correspondiente.
- Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón, tipo SAE 1020, a una velocidad de 6,35 milímetros o más por año a una temperatura de 328 K (55°C), según el procedimiento que se establece en la NMX correspondiente.

**Reactividad.** Es reactivo cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Es un líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos sin que exista una fuente externa de ignición, según el procedimiento que se establece en la NMX correspondiente.
- Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor de 1 litro por kilogramo del residuo por hora, según el procedimiento que se establece en la NMX correspondiente.
- Es un residuo que en contacto con el aire y sin una fuente de energía suplementaria genera calor, según el procedimiento que se establece en la NMX correspondiente.
- Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables, que cuando se expone a condiciones ácidas genera gases en cantidades mayores a 250 mg de ácido cianhídrico por kg de residuo o 500 mg de ácido sulfhídrico por kg de residuo, según el procedimiento que se establece en la NMX correspondiente.

**Explosividad.** Es explosivo cuando es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado bajo confinamiento. Esta característica no debe determinarse mediante análisis de laboratorio, por lo que la identificación de esta característica debe estar basada en el conocimiento del origen o composición del residuo.

Toxicidad ambiental. Es tóxico ambiental cuando: el extracto PECT, obtenido mediante el procedimiento establecido en la NOM-053-SEMARNAT-2005, contiene cualquiera de los constituyentes tóxicos de esta norma en una concentración mayor a los límites ahí señalados, la cual deberá obtenerse según los procedimientos que se establecen en las normas mexicanas correspondientes.

**Inflamabilidad.** Es inflamable cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Es un líquido o una mezcla de líquidos que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a 60,5°C, medido en copa cerrada, de conformidad con el procedimiento que se establece en la NMX correspondiente, quedando excluidas las soluciones acuosas que contengan un porcentaje de alcohol, en volumen, menor a 24%.
- No es líquido y es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C, según el procedimiento que se establece en la NMX correspondiente.
- Es un gas que, a 20°C y una presión de 101,3 kPa, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire, o tiene un rango de inflamabilidad con aire de cuando menos 12% sin importar el límite inferior de inflamabilidad.
- Es un gas oxidante que puede causar o contribuir más que el aire, a la combustión de otro material.

**Biológico-Infecciosa.** Es biológico-infeccioso de conformidad con lo que se establece en la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, referida en el punto 4 de esta Norma.

Las toxicidades aguda y crónica quedan exceptuadas de los análisis a realizar para la determinación de la característica de toxicidad ambiental en los residuos.

### **13.2.2** *PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD*

Las muestras para determinaciones analíticas deben ser tomadas directamente a la salida del proceso o del área de almacenamiento en su caso, de conformidad con los procedimientos establecidos en la NMX correspondiente y deberán ser representativas del volumen generado, considerando las variaciones en el proceso y, además, se debe establecer la cadena de custodia para las mismas.

La Secretaría reconocerá las determinaciones analíticas de la prueba CRIT que hayan sido muestreadas y analizadas por un laboratorio acreditado y aprobado conforme a las disposiciones legales aplicables.

## Vigilancia de esta Norma

La vigilancia del cumplimiento de la presente NOM corresponde a la SEMARNAT, por conducto de la PROFEPA, 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 para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, sus Reglamentos y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

En la Tabla 13.7 se muestran los códigos de peligrosidad de los diferentes residuos.

Tabla 13.7 Códigos de peligrosidad de los residuos (CPR)

Características	Código de Peligrosidad de los Residuos (CPR)
Corrosividad	C
Reactividad	R
Explosividad	E
Toxicidad Ambiental Aguda Crónica	T
	Te
	Th
	Tt
Inflamabilidad	I
Biológico-Infeccioso	B

Nota: Cuando se trate de una mezcla de residuos peligrosos de los Listados 3 y 4 se identificarán con la característica del residuo de mayor volumen, agregándole al CPR la letra “M”.

En la Tabla 13.8 se presentan los límites máximos permisibles de diferentes constituyentes tóxicos en el extracto PECT.

Tabla 13.8 Límites máximos permisibles para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT

No. CAS <sup>1</sup>	Contaminante	LMP <sup>2</sup> (mg/L)
CONSTITUYENTES INORGANICOS (METALES)		
7440-38-2	Arsénico	5.0
7440-39-3	Bario	100.0
7440-43-9	Cadmio	1.0
7440-47-3	Cromo	5.0
7439-97-6	Mercurio	0.2
7440-22-4	Plata	5.0



Tabla 13.8 Límites máximos permisibles para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT (continuación)

No. CAS <sup>1</sup>	Contaminante	LMP <sup>2</sup> (mg/L)
7439-92-1	Plomo	5.0
7782-49-2	Selenio	1.0
CONSTITUYENTES ORGÁNICOS SEMIVOLÁTILES		
94-75-7	Acido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D)	10.0
93-72-1	Acido 2,4,5-Triclorofenoxipropiónico (Silvex)	1.0
57-74-9	Clordano	0.03
95-48-7	o-Cresol	200.0
108-39-4	m-Cresol	200.0
106-44-5	p-Cresol	200.0
1319-77-3	Cresol	200.0
121-14-2	2,4-Dinitrotolueno	0.13
72-20-8	Endrin	0.02
76-44-8	Heptacloro (y su Epóxido)	0.008
67-72-1	Hexacloroetano	3.0
58-89-9	Lindano	0.4
74-43-5	Metoxicloro	10.0
98-95-3	Nitrobenceno	2.0
87-86-5	Pentaclorofenol	100.0
8001-35-2	Toxafeno	0.5
95-95-4	2,4,5-Triclorofenol	400.0
88-06-2	2,4,6-Triclorofenol	2.0
CONSTITUYENTES ORGÁNICOS VOLÁTILES		
71-43-2	Benceno	0.5
108-90-7	Clorobenceno	100.0
67-66-3	Cloroformo	6.0
75-01-4	Cloruro de Vinilo	0.2
106-46-7	1,4-Diclorobenceno	7.5
107-06-2	1,2-Dicloroetano	0.5
75-35-4	1,1-Dicloroetileno	0.7
118-74-1	Hexaclorobenceno	0.13
87-68-3	Hexaclorobutadieno	0.5

Tabla 13.8 Límites máximos permisibles para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT (continuación)

No. CAS <sup>1</sup>	Contaminante	LMP <sup>2</sup> (mg/L)
78-93-3	Metil etil cetona	200.0
110-86-1	Piridina	5.0
127-18-4	Tetracloroetileno	0.7
56-23-5	Tetracloruro de Carbono	0.5
79-01-6	Tricloroetileno	0.5

<sup>1</sup> No. CAS: Número del Chemical Abstracts Service (Servicio de Resúmenes Químicos)

<sup>2</sup> LMP: Límite Máximo Permissible

A continuación se presentan los listados 1 a 5 de la NOM-052-SEMARNAT-2005.

**Listado 1.-** Clasificación de residuos peligrosos por fuente específica

Residuo	CPR	Clave
<b>Giro 1: beneficio de metales</b>		
Cubas electrolíticas gastadas de la reducción primaria de aluminio	(Tt)	E1/01
Licor gastado generado por las operaciones de acabado del acero en instalaciones pertenecientes a la industria del hierro y del acero	(C,Tt)	E1/02
Lodos y polvos del equipo de control de emisiones de fundición y afinado en la producción secundaria de plomo	(Tt)	E1/03
Solución gastada proveniente de la lixiviación ácida de los lodos/polvos del equipo de control de emisiones en la fundición secundaria de plomo	(Tt)	E1/04
<b>Giro 2: producción de coque</b>		
Residuos que no se reintegren al proceso de la producción de coque y que no puedan ser reutilizados	(Tt)	E2/01
<b>Giro 3: explosivos</b>		
Carbón agotado del tratamiento de aguas residuales que contienen explosivos	(R.E)	E3/01
Lodos del tratamiento de aguas residuales en la fabricación, formulación y carga de los compuestos iniciadores base plomo	(Tt)	E3/02
Residuos de agua rosa-roja y de ácidos gastados de la manufactura de tnt	(R.E)	E3/03
<b>Giro 4: petróleo, gas y petroquímica</b>		
Catalizadores gastados del proceso de “hidrocracking” catalítico de residuales en la refinación de petróleo	(I,Tt)	E4/01

Lodos de la separación primaria de aceite/agua/sólidos de la refinación del petróleo-cualquier lodo generado por separación gravitacional de aceite/agua/sólidos durante el almacenamiento o tratamiento de aguas residuales de proceso y aguas residuales aceitosas de enfriamiento, de refinerías de petróleo. Tales lodos incluyen, pero no se limitan, a aquellos generados en separadores de aceite/agua/sólidos; tanques y lagunas de captación; zanjas y otros dispositivos de transporte de agua pluvial, lodos generados de aguas de enfriamiento sin contacto, de un sólo paso, segregadas para tratamiento de otros procesos o aguas de enfriamiento aceitosas y lodos generados en unidades de tratamientos biológicos	(Tt)	E4/02
Lodos de separación secundaria (emulsificados) de aceite/agua/sólidos. Cualquier lodo y/o nata generada en la separación física y/o química de aceite/agua/sólidos de aguas residuales de proceso y aguas residuales aceitosas de enfriamiento de las refinerías de petróleo. Tales residuos incluyen, pero no se limitan a, todos los lodos y las natas generadas en: unidades de flotación de aire inducida, tanques y lagunas de captación y todos los lodos generados en unidades DAF (flotación con aire disuelto). Lodos generados de aguas de enfriamiento sin contacto, de un sólo paso, segregadas para tratamiento de otros procesos o aguas de enfriamiento aceitosas, lodos y natas generados en unidades de tratamientos biológicos	(Tt)	E4/03
Lodos del separador API y cárcamos en la refinación de petróleo y almacenamiento de productos derivados	(Tt)	E4/04
Lodos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos	(Tt)	E4/05
Lodos de la limpieza de los haces de tubos de los intercambiadores de calor, lado hidrocarburo	(Tt)	E4/06
Natas del sistema de flotación con aire disuelto (fad) en la refinación de petróleo y almacenamiento de productos derivados	(Tt)	E4/07
Sólidos de emulsión de aceites de baja calidad en la industria de refinación de petróleo	(Tt)	E4/08
Fondos de la etapa de destilación en la producción de acetaldehído vía oxidación de etileno	(C,Tt,i)	E4/09
Cortes laterales de la etapa de destilación en la producción de acetaldehído vía oxidación de etileno	(C,Tt,i)	E4/10
Residuos de procesos, incluyendo pero no limitado a residuos de destilación, fondos pesados, breas y residuos de la limpieza de reactores de la producción de hidrocarburos alifáticos clorados por procesos de catalización de radicales libres que tienen cadenas de hasta 5 (cinco) carbonos con diversas cantidades y posiciones de sustitución de cloro	(Tt)	E4/11
<b>Giro 5: pinturas y productos relacionados</b>		
Residuos de pigmentos base cromo y base plomo	(Tt)	E5/01
<b>Giro 6: plaguicidas y herbicidas</b>		
Lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la producción de carbamatos, herbicidas clorados; plaguicidas órgano-halogenados; órgano-arsenicales; órgano-metálicos y órgano-fosforados	(Tt)	E6/01
Residuos de la producción de carbamatos, herbicidas clorados; plaguicidas órgano-halogenados; órgano-arsenicales; órgano-metálicos y órgano-fosforados	(Tt)	E6/02

<b>Giro 7: preservación de la madera</b>		
Lodos sedimentados y soluciones gastadas generados en los procesos de preservación de la madera	(Tt)	E7/01
<b>Giro 8: química farmacéutica</b>		
Carbón activado gastado en la producción de farmacéuticos veterinarios de compuestos con arsénico y órgano-arsenicales	(Tt)	E8/01
Residuos de breas de la destilación de compuestos a base de anilina en la producción de productos veterinarios de compuestos de arsénico y órgano-arsenicales	(Tt)	E8/02
<b>Giro 9: Química inorgánica</b>		
Filtros de las casas de bolsas en la producción de óxido de antimonio, incluyendo los filtros en la producción de productos intermedios (antimonio metálico y óxido de antimonio crudo)	(TE)	E9/01
Escorias de la producción de óxido de antimonio, incluyendo aquellas de los productos intermedios (antimonio metálico y óxido de antimonio crudo)	(Tt)	E9/02
Lodos de la purificación de salmuera, donde la salmuera purificada separada no se utiliza, en la producción de cloro (proceso de celdas de mercurio)	(Tt)	E9/03
Lodos del tratamiento de aguas residuales en la producción de cloro (proceso de celdas de mercurio)	(Tt)	E9/04
Residuos de hidrocarburos clorados de la etapa de purificación en la producción de cloro (proceso de celdas de diafragma usando ánodos de grafito)	(Tt)	E9/05
Lodos del tratamiento de aguas residuales de la producción de pigmentos naranja y amarillo de cromo	(Tt)	E9/06
Lodos del tratamiento de aguas residuales de la producción de pigmentos verdes de cromo	(Tt)	E9/07
Lodos del tratamiento de aguas residuales de la producción de pigmentos verdes de óxido de cromo (anhídros e hidratados)	(Tt)	E9/08
Residuos del horno de la producción de pigmentos verdes de óxido de cromo	(Tt)	E9/09
Lodos de tratamiento de aguas residuales de la producción de pigmentos azules de hierro	(Tt)	E9/10
Lodos del tratamiento de aguas residuales de la producción de pigmentos naranja de molibdato	(Tt)	E9/11
Lodos del tratamiento de aguas residuales de la producción de pigmentos amarillos de zinc	(Tt)	E9/12
Residuos de la manufactura y del almacenamiento en planta de cloruro férrico derivado de ácidos formados durante la producción de bióxido de titanio mediante el proceso cloruro-ilmenita	(Tt)	E9/13
<b>Giro 10: química orgánica</b>		
Lodos de las descargas de aguas residuales en la producción de acrilonitrilo	(R, Tt)	E10/01
Fondos de la columna de acetonitrilo en la producción de acrilonitrilo	(R, Tt)	E10/02
Fondos de la columna de purificación de acetonitrilo en la producción de acrilonitrilo	(Tt)	E10/03

Domos ligeros de la destilación inicial en la producción de anhídrido ftálico a partir de naftaleno	(Tt)	E10/04
Fondos de la destilación final en la producción de anhídrido ftálico a partir de naftaleno	(Tt)	E10/05
Domos ligeros de la destilación inicial en la producción de anhídrido ftálico a partir de orto-xileno	(Tt)	E10/06
Fondos de la destilación final en la producción de anhídrido ftálico a partir de orto-xileno	(Tt)	E10/07
Fondos de la destilación en la producción de anilina	(Tt)	E10/08
Residuos del proceso de extracción de anilina	(Tt)	E10/09
Residuos provenientes del lavado de gases, de condensación, de depuración y separación en la producción de carbamatos y carbomil oximas	(Tt)	E10/10
Materiales orgánicos del tratamiento de residuos de tiocarbamato en la producción de carbamatos y carbomil oximas	(Tt)	E10/11
Polvos de casas de bolsas y sólidos de filtrado/separación de la producción de carbamatos y carbomil oximas	(Tt)	E10/12
Residuos orgánicos (incluyendo fondos pesados, estancados, fondos ligeros, solventes gastados, residuos de la filtración y la decantación) de la producción de carbamatos y carbomil oximas	(Tt)	E10/13
Sólidos de purificación (incluyendo sólidos de filtración, evaporación y centrifugación), polvos de casas de bolsas y de barrido de pisos en la producción de ácidos de tiocarbamatos y sus sales en la producción de carbamatos y carbomil oximas	(r,Tt)	E10/14
Fondos de la columna de destilación o fraccionamiento en la producción de cloro bencenos	(Tt)	E10/15
Corrientes separadas del agua del reactor de lavado de cloro bencenos	(Tt)	E10/16
Fondos de la etapa de destilación en la producción de cloruro de bencilo	(Tt)	E10/17
Fondos pesados de la columna de fraccionamiento en la producción de cloruro de etilo	(Tt)	E10/18
Fondos pesados de la destilación de cloruro de vinilo en la producción de monómero de cloruro de vinilo	(Tt)	E10/19
Lodos del tratamiento de aguas residuales de la producción de dicloruro de etileno o de monómero de cloruro de vinilo	(Tt)	E10/20
Lodos del tratamiento de aguas residuales de la producción de monómero de cloruro de vinilo en la que se utilice cloruro de mercurio como catalizador en un proceso base acetileno	(Tt)	E10/21
Residuos del lavador de gases de venteo del reactor en la producción de di bromuro de etileno vía bromación del etileno	(Tt)	E10/22
Sólidos adsorbentes gastados de la etapa de purificación del di bromuro de etileno obtenido a partir de la bromación del etileno	(Tt)	E10/23
Fondos de la etapa de purificación del di bromuro de etileno obtenido a partir de la bromación del etileno	(Tt)	E10/24



Condensados orgánicos de la columna de recuperación de solventes en la producción de diisocianato de tolueno vía fosgenación de la toluendiamina	(Tt)	E10/25
Residuos de centrifugación y destilación en la producción de diisocianato de tolueno vía fosgenación de la toluendiamina	(R,Tt)	E10/26
Fondo de la torre de separación de productos en la producción de 1,1-dimetil hidracina a partir de hidracinas de ácido carboxílico	(C,Tt)	E10/27
Cabezas condensadas de la columna de separación de productos y gases condensados del venteo del reactor en la producción de 1,1-dimetil hidracina a partir de hidracinas de ácido carboxílico	(Tt,I)	E10/28
Cartuchos de los filtros agotados de la purificación de la 1,1-dimetil hidracina obtenida a partir de hidracinas de ácido carboxílico	(Tt)	E10/29
Cabezas condensadas de la columna de separación de intermedios en la producción de 1,1-dimetil hidracina a partir de hidracinas de ácido carboxílico	(Tt)	E10/30
Residuos provenientes del lavado de dinitrotolueno obtenido a partir de la nitración de tolueno	(C,Tt)	E10/31
Fondos pesados de la columna de purificación de la epiclorhidrina	(Tt)	E10/32
Fondos pesados (brea) de la etapa de destilación en la producción de fenol/ acetona a partir del cumeno	(Tt)	E10/33
Residuo de catalizador agotado de antimonio en solución acuosa en la producción de fluorometanos	(Tt)	E10/34
Colas de las descargas en la producción de metil etil piridinas	(Tt)	E10/35
Corrientes combinadas de aguas residuales en la producción de nitrobenceno/ anilina	(Tt)	E10/36
Fondos de la destilación en la producción de nitrobenceno mediante la nitración del benceno	(Tt)	E10/37
Fondos pesados o productos residuales de la etapa de destilación en la producción de tetracloruro de carbono	(Tt)	E10/38
Agua de reacción (subproducto) de la columna de secado en la producción de toluendiamina vía hidrogenación de dinitrotolueno	(Tt)	E10/39
Fondos ligeros líquidos condensados de la etapa de purificación de la toluendiamina obtenida a través de la hidrogenación de dinitrotolueno	(Tt)	E10/40
Vecinales de la etapa de purificación de la toluendiamina obtenida a través de la hidrogenación de dinitrotolueno	(Tt)	E10/41
Fondos pesados de la etapa de purificación de la toluendiamina obtenida a través de la hidrogenación de dinitrotolueno	(Tt)	E10/42
Fondos de la destilación en la producción de alfa- (o metil-) cloro toluenos, cloro toluenos con radicales cíclicos, cloruros de benzoilo y mezclas de estos grupos funcionales. (este residuo no incluye fondos de la destilación de cloruro de bencilo)	(Tt)	E10/43
Lodos del tratamiento de aguas residuales, excluyendo lodos de neutralización y biológicos, generados en el tratamiento de aguas residuales en la producción de toluenos clorados	(Tt)	E10/44

Residuos orgánicos, excluyendo carbón adsorbente gastado, del cloro gaseoso gastado y del proceso de recuperación de ácido hidrocórico asociado con la producción de alfa- (o metil-) cloro toluenos, cloro toluenos con radicales cíclicos, cloruros de benzoilo y mezclas de estos grupos funcionales	(Tt)	E10/45
Catalizadores gastados del reactor de hidroclicación en la producción de 1,1,1-tricloroetano	(Tt)	E10/46
Fondos de la etapa de destilación en la producción de 1,1,1-tricloroetano	(Tt)	E10/47
Fondos pesados de la columna de destilación de productos pesados en la producción de 1,1,1-tricloroetano	(Tt)	E10/48
Residuos del lavador con vapor del producto en la producción de 1,1,1-tricloroetano	(Tt)	E10/49
Fondos o residuos pesados de las torres en el proceso de producción de tricloroetileno	(Tt)	E10/50

## Listado 2. Clasificación de residuos peligrosos por fuente no específica

Residuo	Cpr	Clave
Residuos del manejo de la fibra de asbesto puro, incluyendo polvo, fibras y productos fácilmente desmenuzables con la presión de la mano (todos los residuos que contengan asbesto el cual no esté sumergido o fijo en un aglutinante natural o artificial)	(Tt)	Ne 01
Todas las bolsas que hayan tenido contacto con la fibra de asbesto, así como los materiales filtrantes provenientes de los equipos de control como son: los filtros, mangas, respiradores personales y otros, que no hayan recibido un tratamiento para atrapar la fibra en un aglutinante natural o artificial	(Tt)	Ne 02
Todos los residuos provenientes de los procesos de manufactura cuya materia prima sea el asbesto y la fibra se encuentre en forma libre, polvo o fácilmente desmenuzable con la presión de la mano	(Tt)	Ne 03
Lodos de tratamiento de aguas residuales de apagado de las operaciones de tratamiento térmico de metales donde los cianuros son usados en los procesos	(Tt)	Ne 04
Lodos de tratamiento de aguas residuales de operaciones de galvanoplastia excepto de los siguientes procesos: (1) anodización de aluminio en ácido sulfúrico; (2) estañado en acero al carbón; (3) zincado en acero al carbón; (4) deposición de aluminio o zinc-aluminio en acero al carbón; (5) limpieza asociada con estañado, zincado o aluminado en acero al carbón; y (6) grabado químico y acabado de aluminio depositado en acero al carbón	(Tt)	Ne 05
Lodos de los baños de anodización del aluminio y lodos de tratamiento de aguas residuales del revestimiento de aluminio por conversión química	(Tt)	Ne 06
Residuos de los baños en operaciones de galvanoplastia donde los cianuros son usados en los procesos	(R,Tt)	Ne 07

Soluciones gastadas de baños de cianuro de las operaciones de galvanoplastia	(R,Tt)	Ne 08
Soluciones gastadas de los baños de limpieza y en operaciones de galvanoplastia donde los cianuros son usados en los procesos	(R,Tt)	Ne 09
Residuos de los baños de aceite en las operaciones de tratamiento térmico de metales	(R,Tt)	Ne 10
Soluciones gastadas de cianuros de la limpieza de tanques de baños de sal en las operaciones de tratamiento térmico de metales	(R,Tt)	Ne 11
Residuos generados en la producción de tri-, tetra- o pentaclorofenol	(Th)	Ne 12
Residuos de tetra-, penta o hexaclorobenceno provenientes de su uso como reactante, producto intermedio o componente de una formulación, bajo condiciones alcalinas	(Th)	Ne 13
Residuos, excepto aguas residuales y carbón gastado de la purificación de cloruro de hidrogeno, de la producción de materiales en equipos previamente usados en la manufactura (como reactivo, producto químico intermedio o componente en un proceso de formulación) de tri- y tetraclorofenoles. Este residuo no incluye desechos de equipos utilizados en la producción o uso de hexaclorofeno a partir del 2,4,5-triclorofenol altamente purificado	(Th)	Ne 14
Fondos ligeros condensados, filtros gastados y filtros ayuda y residuos de desecante gastado de la producción de ciertos hidrocarburos alifáticos clorados a través de los procesos catalíticos de radicales libres. Estos hidrocarburos alifáticos clorados son aquellos con cadenas de uno hasta cinco carbonos y que contienen cloro en cantidades y sustituciones variadas	(Tt)	Ne 15
Residuos de la producción de materiales en equipos previamente usados en la producción o manufactura de tetra-, penta- o hexaclorobenzenos (como reactivo, producto químico intermedio o componente en un proceso de formulación) bajo condiciones alcalinas, excepto aguas residuales y carbón gastado de la purificación de cloruro de hidrogeno	(Th)	Ne 16
Residuales de proceso, formulaciones gastadas de procesos de preservación de la madera en plantas que utilizan actualmente o hayan utilizado formulaciones de clorofenol, excepto aquellos que no hayan estado en contacto con contaminantes de proceso	(Tt)	Ne 17
Residuales de proceso y formulaciones gastadas de procesos de preservación de la madera en plantas que utilicen formulaciones de creosota, excepto aquellos que no hayan estado en contacto con contaminantes de proceso	(Tt)	Ne 18
Residuales de proceso y formulaciones gastadas de procesos de preservación de la madera en plantas que utilicen formulaciones inorgánicas que contengan arsénico o cromo para preservar la madera, excepto aquellos que no hayan estado en contacto con contaminantes de proceso	(Tt)	Ne 19
Lixiviados (líquidos que han percolado a través de residuos dispuestos en tierra) resultantes de la disposición de uno o mas de los residuos peligrosos señalados en esta norma	(Tt)	Ne 20
Residuos resultantes de la incineración o de tratamiento térmico de suelos contaminados con los residuos peligrosos con claves NE 12, NE 13, NE 14 y NE 16	(Tt)	Ne 21

**Listado 3.** Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (tóxicos agudos)

No. CAS	Nombre	CPR	Clave
5344-82-1	1-(o-Clorofenil)tiourea/2-Clorofeniltiourea	(Th)	H026
58-90-2	2,3,4,6-Tetraclorofenol	(Th)	H1000
95-95-4	2,4,5-Triclorofenol	(Th)	H1001
93-76-5	2,4,5-Triclorofenoxiacético, ácido/2,4,5-T	(Th)	H1002
88-06-2	2,4,6-Triclorofenol	(Th)	H1003
51-28-5	2,4-Dinitrofenol	(Th)	H048
131-89-5	2-Ciclohexil-4,6-dinitrofenol	(Th)	H034
542-76-7	3-Cloropropionitrilo	(Th)	H027
534-52-1	4,6-Dinitro-o-cresol, y sales	(Th)	H047
504-24-5	4-Aminopiridina	(Th)	H008
2763-96-4	5-(Aminometil)-3-isoxazolol	(Th)	H007
591-08-2	Acetamida, G1159N-(aminotioxometil)-/1-Acetil-2-tiourea	(Th)	H002
107-02-8	Acroleína/2-Propenal	(Th)	H003
116-06-3	Aldicarb	(Th)	H070
1646-88-4	Aldicarb sulfona	(Th)	H203
309-00-2	Aldrín	(Th)	H004
122-09-8	alfa,alfa-Dimetilfenetilamina/Bencenoetanamina, alfa,alfa-dimetil	(Th)	H046
86-88-4	alfa-Naftiltiourea/Tiourea, 1-naftalenil	(Th)	H072
107-18-6	Alfílico, alcohol/2-Propen-1-ol	(Th)	H005
20859-73-8	Aluminio, fosfuro de	(R,Th)	H006
131-74-8	Amonio, picrato de/Fenol, 2,4,6-trinitro-, amonio sal	(R,Th)	H009
7803-55-6	Amonio, vanadato de	(Th)	H119
7778-39-4	Arsénico, ácido $H_3AsO_4$	(Th)	H010
1327-53-3	Arsénico, óxido $As_2O_3$	(Th)	H012
1303-28-2	Arsénico, óxido $As_2O_5$	(Th)	H011
75-55-8	Aziridina, 2-Metil-/1,2-Propilenimina	(Th)	H067
151-56-4	Aziridina/Etilenoimina	(Th)	H054
542-62-1	Bario, cianuro de	(Th)	H013
108-98-5	Bencenotiol/Tiofenol	(Th)	H014
100-44-7	Benzilo, cloruro de/Clorometilbenceno	(Th)	H028
7440-41-7	Berilio, polvo de (todas las formas)	(Th)	H015
598-31-2	Bromoacetona/2-Propanona, 1-bromo-	(Th)	H017

357-57-3	Brucina	(Th)	H018
592-01-8	Calcio, cianuro de $\text{Ca}(\text{CN})_2$	(Th)	H021
1563-66-2	Carbofurano	(Th)	H127
75-15-0	Carbono, disulfuro de	(Th)	H022
55285-14-8	Carbosulfan	(Th)	H189
74-90-8	Cianhídrico, ácido	(Th)	H063
506-77-4	Cianógeno, cloruro de $(\text{CN})\text{Cl}$	(Th)	H033
460-19-5	Cianógeno/Etanodinitrilo	(Th)	H031
----	Cianuro, sales solubles de (no especificadas de otra manera)	(Th)	H030
107-20-0	Cloracetaldehído	(Th)	H023
544-92-3	Cobre, cianuro de $\text{Cu}(\text{CN})$	(Th)	H029
696-28-6	Diclorofenilarsina	(Th)	H036
542-88-1	Diclorometil éter/Metano, oxibis[cloro	(Th)	H016
60-57-1	Dieldrín	(Th)	H037
692-42-2	Dietilarsina	(Th)	H038
311-45-5	Dietil-p-nitrofenil fosfato/Fosfórico ácido, dietil 4-nitrofenil éster	(Th)	H041
55-91-4	Diisopropilfluorofosfato (DFP)/Fosforofluorhídrico ácido, bis(1-metiletil) éster	(Th)	H043
644-64-4	Dimetilán	(Th)	H191
60-51-5	Dimetoato	(Th)	H044
88-85-7	Dinoseb/Fenol, 2-(1-metilpropil)-4,6-dinitro	(Th)	H020
298-04-4	Disulfotón	(Th)	H039
541-53-7	Ditiobiuret	(Th)	H049
115-29-7	Endosulfan	(Th)	H050
145-73-3	Endotal	(Th)	H088
(1) 72-20-8	Endrín, y sus metabolitos	(Th)	H051
51-43-4	Epinefrina	(Th)	H042
(1) 57-24-9	Estricnidín-10-ona, y sales/Estricnina, y sales	(Th)	H108
52-85-7	Famfur	(Th)	H097
62-38-4	Fenilmercurio, acetato de/Mercurio, (acetato-o)fenil-	(Th)	H092
103-85-5	Feniltiourea	(Th)	H093
57-47-6	Fisostigmina	(Th)	H204
57-64-7	Fisostigmina, salicilato de	(Th)	H188
7782-41-4	Fluorina	(Th)	H056
640-19-7	Fluoroacetamida/2-Fluoroacetamida	(Th)	H057
62-74-8	Fluoroacético, ácido, sal de sodio	(Th)	H058
298-02-2	Forato	(Th)	H094



23422-53-9	Formetanato, hidrocloreuro de	(Th)	H198
17702-57-7	Formparanato	(Th)	H197
7803-51-2	Fosfina / Fosfídrico, ácido	(Th)	H096
75-44-5	Fosgeno	(Th)	H095
76-44-8	Heptacloro	(Th)	H059
757-58-4	Hexaetil tetrafosfato / Tetrafósforico, ácido, hexaetil éster	(Th)	H062
465-73-6	Isodrín	(Th)	H060
119-38-0	Isolan	(Th)	H192
15339-36-3	Manganeso dimetilditiocarbamato	(Th)	H196
64-00-6	M-cumenil metilcarbamato / 3-Isopropilfenil n-metilcarbamato	(Th)	H202
628-86-4	Mercurio fulminato	(R,Th)	H065
60-34-4	Metil hidrazina	(Th)	H068
624-83-9	Metil isocianato / Metano, isocianato-	(Th)	H064
298-00-0	Metil paration / Fosforotioico ácido, o,o-dimetil o-(4-nitrofenil) éster	(Th)	H071
75-86-5	Metilactonitrilo / Propanonitrilo, 2-hidroxi-2-metil-	(Th)	H069
2032-65-7	Metiocarb.	(Th)	H199
1129-41-5	Metolcarb / Carbámico ácido, metil-, 3-metilfenil éster	(Th)	H190
16752-77-5	Metomil	(Th)	H066
315-8-4	Mexacarbato	(Th)	H128
(1) 54-11-5	Nicotina, y sales / Piridina, 3-(1-metil-2-pirrolidinil)-, (s)-, y sales	(Th)	H075
13463-39-3	Níquel carbónil Ni(CO) <sub>4</sub> , (t-4)-	(Th)	H073
557-19-7	Níquel, cianuro de Ni(CN) <sub>2</sub>	(Th)	H074
10102-43-9	Nitrógeno, óxido de / Nítrico, óxido (NO)	(Th)	H076
10102-44-0	Nitrógeno, dióxido de	(Th)	H078
55-63-0	Nitroglicerina / 1,2,3-Propanotriol, trinitrato de	(E,Th)	H081
62-75-9	n-Nitrosodimetilamina	(Th)	H082
4549-40-0	n-Nitrosometilvinilamina	(Th)	H084
297-97-2	o,o-dietil o-pirazinil fosforotioato	(Th)	H040
152-16-9	Octametilpirofosforamida / Difosforamida, octametil	(Th)	H085
20816-12-0	Osmio óxido OsO <sub>4</sub> , (T-4)-	(Th)	H087
23135-22-0	Oxamil	(Th)	H194
56-38-2	Paration	(Th)	H089
106-47-8	p-Cloroanilina / Bencenamina, 4-cloro-	(Th)	H024
87-86-5	Pentaclorofenol	(Th)	H1004
506-64-9	Plata, cianuro de Ag(CN)	(Th)	H104
78-00-2	Plumbano, tetraetil- / Tetraetilo de plomo	(Th)	H110

100-01-6	p-Nitroanilina/Bencenamina, 4-nitro-	(Th)	H077
151-50-8	Potasio, cianuro de K(CN)	(Th)	H098
506-61-6	Potasio plata, cianuro de/ Argentato(1-), bis(ciano-c)-, potasio	(Th)	H099
2631-37-0	Promecarb/Fenol, 3-metil-5-(1-metiletil)-, metil carbamato	(Th)	H201
107-12-0	Propanonitrilo	(Th)	H101
107-19-7	Propargil alcohol/2-Propin-1-ol	(Th)	H102
630-10-4	Selenourea	(Th)	H103
93-72-1	Silvex (2,4,5-TP)/Propanoico ácido, 2-(2,4,5-triclorofenoxi)-	(Th)	H1005
26628-22-8	Sodio, azida de	(Th)	H105
143-33-9	Sodio, cianuro de Na(CN)	(Th)	H106
1314-32-5	Talio, óxido de/Tálico, óxido $Tl_2O_3$	(Th)	H113
12039-52-0	Talio, selenita de	(I,Th)	H114
7446-18-6	Talio, sulfato de	(I,Th)	H115
107-49-3	Tetraetilpirofosfato/Difosfórico ácido, tetraetil éster	(Th)	H111
3689-24-5	Tetraetilditiopirofosfato/Tiodifosfórico ácido, tetraetil éster	(Th)	H109
509-14-8	Tetranitrometano	(R,Th)	H112
39196-18-4	Tiofanax	(Th)	H045
79-19-6	Tiosemicarbazida/Hidrazinacarbatioamida	(Th)	H116
26419-73-8	TiRPato	(Th)	H185
8001-35-2	Toxafeno	(Th)	H123
75-70-7	Triclorometanotiol	(Th)	H118
1314-62-1	Vanadio, óxido de $V_2O_5$	(Th)	H120
(1) 81-81-2	Warfarina, y sales, cuando están presentes en concentraciones mayores que 0.3%	(Th)	H001
557-21-1	Zinc, cianuro de $Zn(CN)_2$	(Th)	H121
1314-84-7	Zinc, fosfuro de $Zn_3P_2$ , cuando está presente en concentraciones mayores que 10%	(R,Th)	H122
137-30-4	Ziram	(Th)	H205

1.- En el caso de familias de isómeros de compuestos orgánicos, sólo se menciona el nombre del grupo, todos los isómeros se deben considerar constituyentes tóxicos (p.e. diclorobencenos, incluye al 1,2 1,3 y 1,4 diclorobencenos).

2.- La llamada (1) indica el número CAS de un compuesto equivalente

**Listado 4.** Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (tóxicos crónicos)

No. CAS	Nombre	CPR	Clave
630-20-6	1,1,1,2-Tetracloroetano	(Tt)	T208
79-34-5	1,1,2,2-Tetracloroetano	(Tt)	T209
79-00-5	1,1,2-Tricloroetano	(Tt)	T227
75-35-4	1,1-Dicloroetileno	(Tt)	T078
57-14-7	1,1-Dimetilhidracina	(Tt)	T098
95-94-3	1,2,4,5-Tetraclorobenceno	(Tt)	T207
1464-53-5	1,2:3,4-Diepoxibutano	(I,Tt)	T085
96-12-8	1,2-Dibromo-3-cloropropano	(Tt)	T066
106-93-4	1,2-Dibromoetano	(Tt)	T067
122-66-7	1,2-Difenilhidracina	(Tt)	T109
540-73-8	1,2-Dimetilhidracina	(Tt)	T099
99-35-4	1,3,5-Trinitrobenceno	(R,Tt)	T234
542-75-6	1,3-Dicloropropileno / 1-Propileno, 1,3-dicloro-	(Tt)	T084
1120-71-4	1,3-Propano sultona / 1,2-Oxatiolano, 2,2-dióxido	(Tt)	T193
764-41-0	1,4-Dicloro-2-butileno	(I,Tt)	T074
123-91-1	1,4-Dioxano / 1,4-Dietilenóxido	(Tt)	T108
130-15-4	1,4-Naftoquinona / 1,4-Naftalendiona	(Tt)	T166
504-60-9	1-Metilbutadieno / 1,3-Pentadieno	(I,Tt)	T186
118-79-6	2,4,6-Tribromofenol	(Tt)	T408
120-83-2	2,4-Diclorofenol	(Tt)	T081
(1) 94-75-7	2,4-Diclorofenoxiacético ácido / 2,4-D, sales y ésteres	(Tt)	T240
121-14-2	2,4-Dinitrotolueno	(Tt)	T105
106-51-4	2,5-Ciclohexadien-1,4-diona	(Tt)	T197
87-65-0	2,6-Diclorofenol	(Tt)	T082
606-20-2	2,6-Dinitrotolueno / 2-metil-1,3-dinitrobenceno	(Tt)	T106
105-67-9	2,4-Dimetil fenol	(Tt)	T101
53-96-3	2-Acetilaminofluoreno / acetamida, n-9h-fluoren-2-il-	(Tt)	T005
110-75-8	2-Cloroetil vinil éter / eteno, (2-cloroetoxi)-	(Tt)	T042
91-58-7	2-Cloronaftaleno / beta-Cloronaftaleno	(Tt)	T047
79-46-9	2-Nitropropano	(I,Tt)	T171
109-06-8	2-Picolina / Piridina, 2-metil-	(Tt)	T191
91-94-1	3,3'-Diclorobenzidina	(Tt)	T073
119-93-7	3,3'-Dimetilbenzidina	(Tt)	T095

119-90-4	3,3'-Dimetoxibenzidina	(Tt)	T091
56-49-5	3-Metilclorantreno	(Tt)	T157
101-14-4	4,4'-Metilenbis(2-cloroanilina)	(Tt)	T158
3165-93-3	4-Cloro-o-toluidina, hidrocloreuro de	(Tt)	T049
99-55-8	5-Nitro-o-toluidina	(Tt)	T181
57-97-6	7,12-Dimetilbenzo[a]antraceno	(Tt)	T094
30558-43-1	A2213/Etanimidotoico ácido, 2-(Dimetilamino)-n-hidroxi-2-oxo-, metil éster	(Tt)	T394
75-36-5	Acetilo, cloruro de	(C,R,Tt)	T006
98-86-2	Acetofenona / 1-Fenil-etanona	(Tt)	T004
67-64-1	Acetona	(I,Tt)	T002
75-05-8	Acetonitrilo / 2-Propanona	(I,Tt)	T003
79-06-1	Acrilamida / 2-Propenamida	(Tt)	T007
79-10-7	Acrílico ácido / 2-Propenoico ácido	(I,Tt)	T008
107-13-1	Acrilonitrilo / 2-Propennitrilo	(Tt)	T009
80-15-9	alfa,alfa-Dimetil bencilhidroperóxido	(R,Tt)	T096
134-32-7	alfa-Naftilamina / 1-Naftalenamina	(Tt)	T167
61-82-5	Amitrol / 1H-1,2,4-Triazol-3-amina	(Tt)	T011
62-53-3	Anilina / Bencenamina	(I,Tt)	T012
492-80-8	Auramina	(Tt)	T014
115-02-6	Azaserina / L-serina, diazoacetato(éster)	(Tt)	T015
101-27-9	Barban	(Tt)	T280
71-43-2	Benceno	(I,Tt)	T019
72-43-5	Benceno, 1,1'-(2,2,2-tricloroetiliden)bis[4-metoxi-	(Tt)	T247
98-09-9	Bencensulfonilo, cloruro de	(C,R,Tt)	T020
22781-23-3	Bendiocarb	(Tt)	T278
22961-82-6	Bendiocarb fenol	(Tt)	T364
17804-35-2	Benomil	(Tt)	T271
98-87-3	Benzal, cloruro de / Diclorometilbenceno	(Tt)	T017
92-87-5	Benzidina / [1,1'-Bifenil]-4,4'-diamina	(Tt)	T021
56-55-3	Benzo(a)antraceno	(Tt)	T018
50-32-8	Benzo(a)pireno	(Tt)	T022
225-51-4	Benzo(c)acridina	(Tt)	T016
98-07-7	Benzotricloro / Triclorometilbenceno	(C,R,Tt)	T023
91-59-8	Beta-Naftilamina / 2-Naftalenamina / 2-Naftilamina	(Tt)	T168
101-55-3	Bromofenil fenil éter	(Tt)	T030
74-83-9	Bromometano / Bromuro de metilo	(Tt)	T029

75-60-5	Cacodílico, ácido	(Tt)	T136
13765-19-0	Calcio, cromato de	(Tt)	T032
111-54-6	Carbamoditioico, ácido, 1,2-etanodiilbis, sales y ésteres / Etilenbisditiocarbámico, ácido, sales y ésteres	(Tt)	T114
63-25-2	Carbaril	(Tt)	T279
10605-21-7	Carbendazim	(Tt)	T372
1563-38-8	Carbofurano fenol	(Tt)	T367
56-23-5	Carbón, tetracloruro de /Tetraclorometano	(Tt)	T211
353-50-4	Carbón, oxifluoruro de	(R,Tt)	T033
506-68-3	Cianógeno, bromuro de (CN)Br	(Tt)	T246
50-18-0	Ciclofosfamida	(Tt)	T058
110-82-7	Ciclohexano	(I,Tt)	T056
108-94-1	Ciclohexanona	(I,Tt)	T057
75-87-6	Cloral / Acetaldehído, tricloro	(Tt)	T034
305-03-3	Clorambucil	(Tt)	T035
57-74-9	Clordano, alfa y gamma isómeros	(Tt)	T036
494-03-1	Clornafacina /Naftalenamina, n,n'-bis(2-Cloroetil)-	(Tt)	T026
108-90-7	Clorobenceno	(Tt)	T037
510-15-6	Clorobenzilato	(Tt)	T038
67-66-3	Cloroformo /Triclorometano	(Tt)	T044
107-30-2	Clorometil metil éter /Clorometoximetano	(Tt)	T046
8001-58-9	Creosota	(Tt)	T051
1319-77-3	Cresol (cresílico ácido) /Metilfenol	(Tt)	T052
218-01-9	Criseno	(Tt)	T050
4170-30-3	Crotonaldehído /2-Butenal	(Tt)	T053
98-82-8	Cumeno /Benceno, (1-metiletil)-	(Tt)	T055
20830-81-3	Daunomicina	(Tt)	T059
72-54-8	DDD	(Tt)	T060
50-29-3	DDT	(Tt)	T061
2303-16-4	Dialato	(Tt)	T062
53-70-3	Dibenz[a,h]antraceno	(Tt)	T063
189-55-9	Dibenzo[a,i]pireno	(Tt)	T064
84-74-2	Dibutil ftalato	(Tt)	T069
75-71-8	Diclorodifluorometano	(Tt)	T075
111-44-4	Dicloroetil éter /Etano, 1,1'-oxibis[2-cloro-	(Tt)	T025
108-60-1	Dicloroisopropil éter /Propano, 2,2'-oxibis[2-cloro-	(Tt)	T027
111-91-1	Diclorometoxi etano	(Tt)	T024



84-66-2	Dietil ftalato	(Tt)	T088
5952-26-1	Dietilen glicol, dicarbamato / Etanol, 2,2'-oxibis-, dicarbamato	(Tt)	T395
117-81-7	Dietilhexil ftalato	(Tt)	T028
56-53-1	Dietilstilbesterol / Fenol, 4,4'-(1,2-dietil- 1,2-etenediil)bis-	(Tt)	T089
94-58-6	Dihidrosafrole	(Tt)	T090
131-11-3	Dimetil ftalato	(Tt)	T102
77-78-1	Dimetil sulfato / Sulfúrico ácido, Dimetil éster	(Tt)	T103
124-40-3	Dimetilamina / Metanamina, n-metil	(I,Tt)	T092
79-44-7	Dimetilcarbamil, cloruro de / Carbámico cloruro de, dimetil	(Tt)	T097
117-84-0	Di-n-octil ftalato	(Tt)	T107
621-64-7	Di-n-propilnitrosamina / 1-Propanamina, n-nitroso-n-propil-	(Tt)	T111
142-84-7	Dipropilamina / 1-Propanamina, n-propil-	(I,Tt)	T110
106-89-8	Epiclorohidrín / Oxirano, (clorometil)-2-	(Tt)	T041
18883-66-4	Estreptozotocina / D-glucosa, 2-deoxi-2-[[ (metilnitrosoamino)-carbónoil]amino]	(Tt)	T206
75-07-0	Etanal / Acetaldehído	(I,Tt)	T001
127-18-4	Eteno, tetracoloro-	(Tt)	T210
51-79-6	Etil carbamato (uretano) / Carbámico ácido, etil éster	(Tt)	T238
60-29-7	Etil éter	(I,Tt)	T117
97-63-2	Etil metacrilato / 2-Propenoico ácido, 2-metil-, etil éster	(Tt)	T118
62-50-0	Etil metanosulfonato / Metanosulfónico ácido, etil éster	(Tt)	T119
110-80-5	Etilen glicol monoetil éter / Etanol, 2-etoxi-	(Tt)	T359
107-06-2	Etileno dicloruro de / 1,2-Dicloroetano	(Tt)	T077
96-45-7	Etilentiourea / 2-imidazolidintiona	(Tt)	T116
75-34-3	Etilideno, dicloruro de / Etano 1,1-dicloro-	(Tt)	T076
141-78-6	Etilo, acetato de / Acético ácido, etil éster	(I,Tt)	T112
140-88-5	Etilo, acrilato de / 2-Propenoico ácido, etil éster	(I,Tt)	T113
62-44-2	Fenacetina	(Tt)	T187
108-95-2	Fenol	(Tt)	T188
206-44-0	Fluoranteno	(Tt)	T120
7664-39-3	Fluorhídrico, ácido	(C,Tt)	T134
50-00-0	Formaldehído	(Tt)	T122
64-18-6	Fórmico, ácido	(C,Tt)	T123
1314-80-3	Fósforo, sulfuro de	(R,Tt)	T189
85-44-9	Ftálico anhídrido / 1,3-Isobenzofurandiona	(Tt)	T190

98-01-1	Furfural	(I,Tt)	T125
110-00-9	Furfurano/Furan	(I,Tt)	T124
58-89-9	Gamma-BHC/Lindano	(Tt)	T129
118-74-1	Hexaclorobenceno	(Tt)	T127
87-68-3	Hexaclorobutadieno/1,3-Butadieno, 1,1,2,3,4,4-hexaclaro	(Tt)	T128
77-47-4	Hexaclorociclopentadieno/1,3-Ciclopentadieno, 1,2,3,4,5,5-hexaclaro-	(Tt)	T130
67-72-1	Hexaclaroetano	(Tt)	T131
70-30-4	Hexaclarofeno/2,2'-Metilenobis[3,4,6-triclorofenol	(Tt)	T132
1888-71-7	Hexaclaropropeno/1-Propeno, 1,1,2,3,3,3-hexaclaro-	(Tt)	T243
302-01-2	Hidrazina	(R,Tt)	T133
1615-80-1	Hidrazina, 1,2-dietil-	(Tt)	T086
193-39-5	Indeno[1,2,3-cd]pireno	(Tt)	T137
78-83-1	Isobutil alcohol/1-Propanol, 2-metil-	(I,Tt)	T140
120-58-1	Isosafrola	(Tt)	T141
143-50-0	Kepona	(Tt)	T142
303-34-1	LasiocaRPina	(Tt)	T143
123-33-1	Maleica, hidracida/3,6-Piridazinediona, 1,2-dihidro-,	(Tt)	T148
108-31-6	Maleico, anhídrido/2,5-Furandiona	(Tt)	T147
109-77-3	Malononitrilo/Propanodinitrilo	(Tt)	T149
541-73-1	M-diclorobenceno/Benceno, 1,3-dicloro-	(Tt)	T071
148-82-3	Melfalan/L-fenilalanina, 4-[bis(2-Cloroetil)amino]	(Tt)	T150
7439-97-6	Mercurio (todas las formas)	(Tt)	T151
126-98-7	Metacrilonitrilo/2-Propenenitrilo, 2-metil	(I,Tt)	T152
67-56-1	Metanol	(I,Tt)	T154
91-80-5	Metapirileno	(Tt)	T155
79-22-1	Metil clorocarbónato/carbónoclorídico ácido, metil éster	(I,Tt)	T156
71-55-6	Metil cloroformo/1,1,1-tricloroetano	(Tt)	T226
78-93-3	Metil etil cetona (MEK)/2-butanona	(I,Tt)	T159
1338-23-4	Metil etil cetona peróxido/2-butanona, peróxido	(R,Tt)	T160
108-10-1	Metil isobutil cetona/4-Metil-2-pentanona/4-Metilpentanol	(I,Tt)	T161
80-62-6	Metil metacrilato/2-Propenoico ácido, 2-metil-, metil éster	(I,Tt)	T162
74-95-3	Metileno bromuro de	(Tt)	T068
75-09-2	Metileno cloruro de/Metano, dicloro-	(Tt)	T080
74-87-3	Metilo cloruro de	(I,Tt)	T045
74-88-4	Metilo, ioduro de	(Tt)	T138

56-04-2	Metiltiouracilo	(Tt)	T164
2385-85-5	Mirex	(Tt)	T1000
50-07-7	Mitomicín C	(Tt)	T010
70-25-7	MNNG/Guanidina, n-metil-n'-nitro-n-nitroso-	(Tt)	T163
91-20-3	Naftaleno	(Tt)	T165
71-36-3	n-Butil alcohol/1-Butanol	(I,Tt)	T031
98-95-3	Nitrobenzeno	(I,Tt)	T169
1116-54-7	n-Nitrosodietanolamina	(Tt)	T173
55-18-5	n-Nitrosodietilamina	(Tt)	T174
924-16-3	n-Nitrosodi-n-butilamina	(Tt)	T172
759-73-9	n-Nitroso-n-etilurea	(Tt)	T176
684-93-5	n-Nitroso-n-metilurea	(Tt)	T177
615-53-2	n-Nitroso-n-metiluretano/Carbámico ácido, metilnitroso-, etil éster	(Tt)	T178
100-75-4	n-Nitrosopiperidina/Piperidina, 1-nitroso	(Tt)	T179
930-55-2	n-Nitrosopirrolidina/Pirrolidina, 1-nitroso	(Tt)	T180
107-10-8	n-Propilamina/1-Propanamina	(I,Tt)	T194
3288-58-2	o,o-dietil s-metil ditiofosfato	(Tt)	T087
95-57-8	o-Clorofenol/2-Clorofenol	(Tt)	T048
95-50-1	o-Diclorobenceno	(Tt)	T070
95-53-4	o-Toluidina	(Tt)	T328
636-21-5	o-Toluidina, hidrocloreuro de	(Tt)	T222
75-21-8	Oxirano/Etileno, óxido de	(I,Tt)	T115
765-34-4	Oxiranocarboxialdehído/Glicidilaldehído	(Tt)	T126
123-63-7	Paraldehído/1,3,5-Trioxano, 2,4,6-trimetil-	(Tt)	T182
59-50-7	p-Cloro-m-cresol/4-Cloro-3-metilfenol	(Tt)	T039
106-46-7	p-Diclorobenceno	(Tt)	T072
60-11-7	p-Dimetilaminoazobenceno	(Tt)	T093
608-93-5	Pentaclorobenceno	(Tt)	T183
76-01-7	Pentacloroetano	(Tt)	T184
82-68-8	Pentacloronitrobenzeno (PCNB)	(Tt)	T185
110-86-1	Piridina	(Tt)	T196
1335-32-6	Plomo, subacetato/Plomo, bis(acetato-o)tetrahidroxitri-	(Tt)	T146
301-04-2	Plomo, acetato de	(Tt)	T144
7446-27-7	Plomo, fosfato de	(Tt)	T145
100-02-7	p-Nitrofenol/4-Nitrofenol	(Tt)	T170
122-42-9	Profam/Carbámico ácido, fenil-,1-metiletil éster	(Tt)	T373

23950-58-5	Pronamida	(Tt)	T192
78-87-5	Propileno, dicloruro de/1,2-Dicloropropano	(Tt)	T083
114-26-1	Propoxur/Fenol, 2-(1-metiletoxi)-, metilcarbamato	(Tt)	T411
52888-80-9	Prosulfocarb/Carbamotioico ácido, dipropil-, s-(fenilmetil) éster	(Tt)	T387
106-49-0	p-Toluidina	(Tt)	T353
50-55-5	ReseRPina	(Tt)	T200
108-46-3	Resorcinol	(Tt)	T201
(1) 81-07-2	Sacarina, y sales/1,2-Benzisotiazol-3(2h)-ona, 1,1-dióxido, y sales	(Tt)	T202
94-59-7	Safrole	(Tt)	T203
7783-00-8	Selenio, dióxido de	(Tt)	T204
7488-56-4	Selenio, sulfuro de SeS <sub>2</sub>	(R,Tt)	T205
7783-06-4	Sulfhídrico, ácido	(Tt)	T135
563-68-8	Talio, acetato de	(I,Tt)	T214
6533-73-9	Talio, carbónato de/Carbónico ácido, ditalio(1+) sal	(I,Tt)	T215
7791-12-0	Talio, cloruro de	(Tt)	T216
10102-45-1	Talio, nitrato de/Nítrico ácido, sal de talio (1+)	(I,Tt)	T217
127-18-4	Tetracloroetileno	(Tt)	T210
109-99-9	Tetrahidrofurano	(I,Tt)	T213
62-55-5	Tioacetamida/Etanotioamida	(Tt)	T218
59669-26-0	Tiodicarb	(Tt)	T410
23564-05-8	Tiofanato-metil	(Tt)	T409
74-93-1	Tiometanol/Metanotiol	(I,Tt)	T153
62-56-6	Tiourea	(Tt)	T219
137-26-8	Tiram	(Tt)	T244
25376-45-8	Toluendiamina	(Tt)	T221
26471-625	Tolueno, diisocianato de	(R,Tt)	T223
108-88-3	Tolueno/Metilbenceno	(Tt)	T220
156-60-5	Trans-1,2-dicloroetileno/1,2-dicloroetileno	(Tt)	T079
2303-17-5	Trialato	(Tt)	T389
75-25-2	Tribromometano/Bromoformo	(Tt)	T225
79-01-6	Tricloroetileno	(Tt)	T228
75-69-4	Tricloromonofluorometano	(Tt)	T121
121-44-8	Trietilamina/Etanamina, n,n-dietil-	(I,Tt)	T404
72-57-1	Tripan, azul de	(Tt)	T236

126-72-7	Tris (2,3-dibromopropil) fosfato/ 1-propanol, 2,3-dibromo-, fosfato (3:1)	(Tt)	T235
66-75-1	Uracilo, mostaza de	(Tt)	T237
75-01-4	Vinilo, cloruro de/ Cloroeteno	(Tt)	T043
(1) 81-81-2	Warfarina, y sales, cuando están presentes en concentraciones menores que 0.3%	(Tt)	T248
1330-20-7	Xileno, isómeros	(Tt)	T239
1314-84-7	Zinc, fosfuro de $Zn_3P_2$ , cuando está presente en concentraciones menores o iguales a 10%	(Tt)	T249

**NOTAS:**

1.- En el caso de familias de isómeros de compuestos orgánicos, sólo se menciona el nombre del grupo, todos los isómeros se deben considerar constituyentes tóxicos (p.e. diclorobenceno, incluye al 1,2 1,3 y 1,4 diclorobenceno).

2.- La llamada (1) indica el número CAS de un compuesto equivalente.

**Listado 5.** Clasificación por tipo de residuos, sujetos a condiciones particulares de manejo.

Residuo	CPR	Clave
Baterías, celdas y pilas		
Celdas de desecho en la producción de baterías níquel-cadmio	(T)	RP 1/01
Pilas o baterías Zinc,-oxido de plata usadas o desechadas	(T)	RP 1/02
Catalizadores gastados		
Catalizador gastado con óxidos de fierro, cromo y potasio provenientes del reactor de des-hidrogenación en la producción de estireno	(T)	RP 2/01
Catalizador gastado de cloruro de mercurio en la producción de cloro	(T)	RP 2/02
Catalizador gastado de la purga de la torre de apagado en la producción de acrilonitrilo	(T)	RP 2/03
Catalizadores gastados en la producción de materiales plásticos y resinas sintéticas	(T)	RP 2/04
Catalizadores gastados de vehículos automotores	(t,c)	RP 2/05
<b>Escorias</b>		
Escorias provenientes del horno de fundición de chatarra en la producción de aluminio	(T)	RP 3/01
Escorias provenientes del horno eléctrico en la producción de fósforo	(T)	RP 3/02
Escorias provenientes del horno en la producción secundaria de cobre	(T)	RP 3/03
Escorias provenientes del horno en la producción secundaria de plomo	(T)	RP 3/04
Lodos		
Acabado de metales y galvanoplastia		



Lodos de los tanques de enfriamiento con aceites utilizados en las operaciones de tratamiento en caliente de metales	(T)	RP 4/01
Lodos provenientes de las operaciones de decapado o del desengrasado	(T)	RP 4/02
Lodos provenientes de los baños de cadmizado, cobrizado, cromado, estañado, fosfatizado, latonado, niquelado, plateado, tropicalizado o zincado de piezas metálicas	(T,C)	RP 4/03
<b>Beneficio de metales</b>		
Lodos del ánodo electrolítico en la producción primaria de zinc	(T)	RP 4/04
Lodos del equipo de control de emisiones de hornos eléctricos en la producción de hierro y acero	(T)	RP 4/05
Lodos del lavador de gases en la fundición y refinado de aluminio	(T)	RP 4/06
Lodos de la manufactura de aleaciones de níquel	(T)	RP 4/07
Lodos de las purgas de las plantas de ácido en la producción primaria de cobre	(T)	RP 4/08
Lodos del equipo de control de emisiones de la producción de ferroaleaciones de hierro-cromo-silicio	(T)	RP 4/09
Lodos provenientes de la laguna de evaporación en la producción primaria de plomo	(T)	RP 4/10
Lodos del equipo de control de emisiones del afinado en la producción primaria de plomo	(T)	RP 4/11
<b>Curtiduría</b>		
Lodos generados en el proceso de desescalado y depilado	(C,R)	RP 4/12
Lodos generados en el proceso de pelambre o depilado (encalado)	(C,R)	RP 4/13
Lodos generados en la etapa de curtido al cromo	(C)	RP 4/14
<b>Materiales plásticos y resinas sintéticas</b>		
Lodos de las aguas residuales de los sistemas de lavado de emisiones atmosféricas	(T)	RP 4/15
Lodos de tanques de almacenamiento de monómeros	(T,I)	RP 4/16
<b>Metalmecánica</b>		
Lodos generados en las casetas de aplicación de pintura	(T)	RP 4/17
Lodos producto de la regeneración de aceites de enfriamiento gastados	(T)	RP 4/18
<b>Petróleo, gas y petroquímica</b>		
Lodos de los separadores API y cárcamos en la producción de petroquímicos	(T,I)	RP 4/19
<b>Pinturas y productos relacionados</b>		
Lodos de destilación de solventes	(T)	RP 4/20
<b>Lodos de tratamiento de aguas residuales</b>		
<b>Acabado de metales y galvanoplastia</b>		
Lodos de tratamiento de las aguas residuales provenientes de las operaciones de enjuague de piezas metálicas para remover soluciones concentradas	(T)	RP 5/01

<b>Pilas y baterías</b>		
Lodos de tratamiento de aguas residuales en la producción de baterías plomo-ácido	(T)	RP 5/02
Lodos del tratamiento de aguas residuales en la producción de baterías níquel-cadmio	(T)	RP 5/03
<b>Química inorgánica</b>		
Lodos del tratamiento de las aguas residuales en la producción de ácido fluorhídrico	(T)	RP 5/04
<b>Polvos</b>		
<b>Beneficio de metales</b>		
Polvos del equipo de control de emisiones de hornos eléctricos en la producción de hierro y acero	(T)	RP 6/01
Polvos del equipo de control de emisiones del afinado en la producción primaria de plomo	(T)	RP 6/02
Polvos del equipo de control de emisiones de la producción de ferroaleaciones de hierro-cromo	(T)	RP 6/03
Polvos del equipo de control de emisiones de la producción de ferroaleaciones de hierro-cromo-silicio	(T)	RP 6/04
<b>Química inorgánica</b>		
Polvos recuperados en el precipitador electrostático o casa de bolsa en la producción de fósforo	(T)	RP 6/05
<b>Otros residuos</b>		
<b>Acabado de metales y galvanoplastia</b>		
Aceites gastados en las operaciones de tratamiento en caliente de metales	(T)	RP 7/01
Sales precipitadas de los baños de regeneración de níquel	(T)	RP 7/02
Residuos conteniendo mercurio de los procesos electrolíticos	(T)	RP 7/03
Residuos de catalizadores agotados	(T,C)	RP 7/04
<b>Beneficio de metales</b>		
Colas en las plantas de manufactura de ferroaleaciones de hierro-níquel	(T)	RP 7/05
Purgas de la planta de ácido en la producción primaria de zinc	(T)	RP 7/06
Residuo de lixiviado de la planta de cadmio en la producción primaria de zinc	(T)	RP 7/07
<b>Componentes electrónicos</b>		
Residuos de soldadura en la producción de circuitos electrónicos que contengan plomo u otros metales de la tabla 2 de esta norma	(T)	RP 7/08
Residuos de solventes empleados en la limpieza de las placas en la producción de circuitos electrónicos	(T)	RP 7/09
Residuos generados en la preparación de pigmentos magnéticos y en la preparación de la mezcla de cobertura en la producción de cintas magnéticas	(T)	RP 7/10
Residuos provenientes del recubrimiento de tubos electrónicos durante la producción de los mismos	(T)	RP 7/11

Curtiduría		
Residuos que contienen cromo por encima de los LMP de la tabla 2 excepto si: todas las sales o soluciones utilizadas en el proceso productor sean de cromo trivalente y los residuos se manejen durante todo su ciclo de vida en condiciones no oxidantes	(T)	RP 7/12
Explosivos		
Residuos de ácidos gastados de la manufactura de dinamita y pólvora	(R,E)	RP 7/13
Residuos de la manufactura de cerillos y productos pirotécnicos	(R,E)	RP 7/14
Residuos de la manufactura del propelente sólido	(R,E)	RP 7/15
Materiales plásticos y resinas sintéticas		
Fondos de tanques de almacenamiento de monómeros en la producción de materiales plásticos y resinas sintéticas	(T,I)	RP 7/16
Metalmecánica		
Aceites gastados de corte y enfriamiento en las operaciones de troquelado, fresado, taladrado y esmerilado	(T)	RP 7/17
Carbón activado agotado proveniente del sistema de emisiones de la caseta de pintado	(T)	RP 7/18
Residuos del proceso de extrusión de tubería de cobre	(T)	RP 7/19
Residuos de las operaciones de limpieza alcalina o ácida	(C,T)	RP 7/20
Petróleo, gas y petroquímica		
Aceites solubles en ácido (asas) provenientes de los procesos de alquilación de hidrocarburos	(I)	RP 7/21
Aminas gastadas, filtros de amina contaminada, lodos de amina, solución acuosa de amina contaminada, productos de la degradación de la amina, así como sólidos recuperados (fondos) provenientes del proceso de endulzamiento del gas y condensados amargos. Otros productos de la degradación de aminas del proceso de endulzamiento, cracking y fraccionamiento de azufre	(T)	RP 7/22
Clorados intermedios provenientes del fondo de la columna re-destiladora de monómero de vinilo	(C,T,I)	RP 7/23
Clorados pesados provenientes de los fondos de la columna de purificación de dicloroetano	(C,T,I)	RP 7/24
Derivados hexaclorados provenientes de los fondos de la columna de recuperación de percloroetileno	(T)	RP 7/25
Polímero de la purga de la torre de apagado en la producción de acrilonitrilo	(T)	RP 7/26
Residuos de la des-hidrogenación del n-butano en la producción de butadieno	(T)	RP 7/27
Sedimento impregnado de hidrocarburos provenientes de las corridas de diablo	(T)	RP 7/28
Sosas gastadas y sosas fenólicas provenientes de los procesos de endulzamiento de hidrocarburos	(C,T)	RP 7/29
Pilas y baterías		
Pasta de desecho en la producción de pilas secas (celdas primarias-alcalinas y ácidas)	(T)	RP 7/30

Residuos de los hornos de la producción de baterías de mercurio	(T)	RP 7/31
<b>Pinturas y productos relacionados</b>		
Felpas impregnadas de pigmentos de cromo y plomo	(T)	RP 7/32
Residuos de agentes secantes para pinturas, lacas, barnices, masillas para resanar y productos derivados	(T)	RP 7/33
Residuos de disolventes empleados en el lavado de los equipos de proceso	(T,C)	RP 7/34
Residuos de monómeros auto-polimerizables	(T,R)	RP 7/35
Residuos de retardadores de flama	(T)	RP 7/36
Residuos del equipo de control de la contaminación del aire	(T)	RP 7/37
<b>Química farmacéutica</b>		
Carbón activado gastado de la producción de farmoquímicos y medicamentos que haya tenido contacto con productos que contengan constituyentes tóxicos de los listados 3 y 4 de esta norma	(T)	RP 7/38
Los medicamentos fuera de especificaciones o caducos que no aparezcan en los listados 3 y 4 de esta norma oficial mexicana	(T)	RP 7/39
Residuos biológicos no inactivados de la producción de biológicos y hemoderivados	(B)	RP 7/40
Residuos de la producción de biológicos y hemoderivados que contengan constituyentes tóxicos de los listados 3 y 4 de esta norma	(B)	RP 7/41
Residuos de la producción de farmoquímicos y medicamentos que contengan constituyentes tóxicos de los listados 3 y 4 de esta norma	(T)	RP 7/42
<b>Química inorgánica</b>		
Filtro ayuda gastado (tortas de filtros) en la producción de fósforo y pigmentos de cromo y derivados	(T)	RP 7/43
Residuos de la producción de carbónilo de níquel	(T)	RP 7/44
<b>Química orgánica</b>		
Medios filtrantes gastados de la producción de 2,4,6-tribromofenol	(T)	RP 7/45
Residuos y subproductos del reactor en la producción del nitrobenzeno	(T)	RP 7/46
Residuos de la destilación en la producción de anhídrido maleico	(T, C)	RP 7/47
Residuos de la producción de 2,4,6-tribromofenol	(T)	RP 7/48
Residuos de las torres de lavado de gases en la producción de metil etil piridina	(T)	RP 7/49
<b>Textiles</b>		
Agentes mordientes gastados residuales	(T)	RP 7/50
Residuos ácidos o alcalinos	( C )	RP 7/51
Residuos de adhesivos y polímeros	(T)	RP 7/52
Residuos de agentes enlazantes y de carbónización	(T)	RP 7/53
Residuos provenientes del blanqueado	(C,T)	RP 7/54
<b>Varios</b>		

Cenizas de incineración de residuos	(T)	RP 7/55
Gasolina, diesel y naftas gastados o sucios provenientes de estaciones de servicio y talleres automotrices	(T)	RP 7/56
Residuos de liquido blanqueador, fijador, estabilizador y aguas de enjuague provenientes del revelado de papel fotográfico, placas radiográficas o de rayos x y fotolitos	(T)	RP 7/57
<b>Soluciones gastadas</b>		
<b>Acabado de metales y galvanoplastia</b>		
Soluciones gastadas de los baños de anodización del aluminio	(T)	RP 8/01
Soluciones gastadas de cianuro de los crisoles de limpieza con baños de sales en las operaciones de tratamiento en caliente de metales	(R,T)	RP 8/02
Soluciones gastadas provenientes de las operaciones de decapado	(T)	RP 8/03
Soluciones gastadas provenientes de los baños de cadmizado, cobrizado, cromado, estañado, fosfatizado, latonado, niquelado, plateado, tropicalizado o zincado de piezas metálicas	(T,C)	RP 8/04
<b>Beneficio de metales</b>		
Solucion gastada del lavador de gases que proviene del proceso del afinado en la producción primaria de plomo	(T)	RP 8/05
<b>Componentes electrónicos</b>		
Soluciones acidas gastadas provenientes de la limpieza en la producción de semiconductores	(T)	RP 8/06
Soluciones gastadas provenientes del baño de plaquedo en la producción de circuitos electrónicos	(T)	RP 8/07
<b>Metalmecánica</b>		
Soluciones gastadas de los baños de templado provenientes de las operaciones de enfriamiento	(T)	RP 8/08
Soluciones gastadas provenientes de la extrusión	(C,T)	RP 8/09
<b>Preservación de la madera</b>		
Soluciones gastadas generadas en los procesos de preservación de la madera	(T)	RP 8/10

Para los residuos peligrosos de los listados 1 y 2 se podrán solicitar condiciones particulares de manejo, según lo establecido en el reglamento.



## ANEXO 1

### BASES PARA LISTAR RESIDUOS PELIGROSOS POR “FUENTE ESPECÍFICA” Y “FUENTE NO ESPECÍFICA”, EN FUNCIÓN DE SUS TOXICIDADES AMBIENTAL, AGUDA O CRÓNICA

Clave	Constituyentes por los que se listaron los residuos
E1/01	Cianuro (complejos)
E1/02	Cromo hexavalente, plomo
E1/03	Cromo hexavalente, plomo, cadmio
E1/04	Plomo, benceno, benzo(a)pireno, dibenz(a,h)antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, 3-metilclorantreno, 7,12-dimetilbenz(a)antraceno
E2/01	Arsénico, benceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, cianuro, compuestos fenólicos, dibenz(a,h)antraceno, fenol, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno
E3/01	N.A.
E3/02	Plomo
E3/03	N.A.
E4/01	Benceno y arsénico
E4/02	Benceno, benzo(a)pireno, criseno, plomo, cromo
E4/03	Benceno, benzo(a)pireno, criseno, plomo, cromo
E4/04	Cromo hexavalente, plomo
E4/05	Plomo, benceno, benzo(a)pireno, dibenz(a,h)antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, 3-metilclorantreno, 7,12-dimetilbenz(a)antraceno.
E4/06	Cromo hexavalente
E4/07	Cromo hexavalente, plomo
E4/08	Cromo hexavalente, plomo
E4/09	Cloroformo, formaldehído, cloruro de metileno, cloruro de metilo, paraldehído, ácido fórmico
E4/10	Cloroformo, formaldehído, cloruro de metileno, cloruro de metilo, paraldehído, ácido fórmico, cloracetaldéhid
E4/11	Clorometano, diclorometano, triclorometano, tetracloruro de carbón, cloroetileno, 1,1- dicloroetano, 1,2-dicloroetano, trans-1-1-dicloroetileno, 1,1-dicloroetileno, 1,1,1-tricloroetano, 1,1,2-tricloroetano, tricloroetileno, 1,1,1,2-tetracloroetano, 1,1,2,2-tetracloroetano, tetracloroetileno, pentacloroetano, hexacloroetano, cloruro de alilo (3-cloropropano), dicloropropano, dicloropropeno, 2-cloro-1,3-butadieno, hexaclaro-1,3-butadieno, hexaclorociclopentadieno, hexaclorociclohexano, benceno, clorobenceno, diclorobencenos, 1,2,4-triclorobenceno, tetraclorobenceno, pentaclorobenceno, hexaclorobenceno, tolueno, naftaleno
E5/01	Plomo, cromo hexavalente
E6/01	Arsénico, hexaclorociclopentadieno, creosota, criseno, naftaleno, fluoranteno, benzo(b)fluoranteno, benzo(a)pireno, indeno(1,2,3-cd)pireno, benzo(a)antraceno, dibenz(a)antraceno, acenaftaleno tolueno, ésteres de ácidos fósforoditioico y fósforotioico, forato, formaldehído, toxafeno

E6/02	Arsénico, hexaclorociclopentadieno, clordano, heptacloro, tolueno, ésteres de ácidos fósforoditioico y fósforotioico, forato, formaldehído, 2,4-diclorofenol, 2,6-diclorofenol, 2,4,6-triclorofenol, toxafeno, etilentiourea, dimetil sulfato y bromuro de metilo
E7/01	Pentaclorofenol, fenol, 2-clorofenol, p-cloro-m-cresol, 2,4-dimetilfenil, 2,4-dinitrofenol, triclorofenoles, tetraclorofenoles, 2,4-dinitrofenol, creosota, criseno, naftaleno, fluoranteno, benzo(b)fluoranteno, benzo(a)pireno, indeno(1,2,3-cd)pireno, benzo(a)antraceno, dibenz(a)antraceno, acenaftaleno
E8/01	Arsénico
E8/02	Arsénico
E9/01	Arsénico, plomo
E9/02	Antimonio
E9/03	Mercurio
E9/04	Mercurio
E9/05	Cloroformo, tetracloruro de carbóno, hexacloroetano, tricloroetano, tetracloroetileno, dicloroetileno, 1,1,2,2-tetracloroetano
E9/06	Cromo hexavalente, plomo
E9/07	Cromo hexavalente, plomo
E9/08	Cromo hexavalente
E9/09	Cromo hexavalente
E9/10	Cianuro (complejos), cromo hexavalente
E9/11	Cromo hexavalente, plomo
E9/12	Cromo hexavalente
E9/13	Talio
E10/01	Acilonitrilo, acetonitrilo, ácido cianhídrico
E10/02	Acilonitrilo, acetonitrilo, ácido cianhídrico
E10/03	Acetonitrilo, acrilamida
E10/04	Anhídrido ftálico, anhídrido maléico
E10/05	Anhídrido ftálico, 1,4-naftoquinona
E10/06	Anhídrido ftálico, anhídrido maléico
E10/07	Anhídrido ftálico
E10/08	Anilina, difenilamina, nitrobenzeno, fenilenediamina
E10/09	Anilina, nitrobenzeno, fenilenediamina
E10/10	Tetracloruro de carbóno, formaldehído, cloruro de metilo, cloruro de metileno, piridina, trietilamina
E10/11	Benceno, butilato, eptc, molinato, pebulato, vernolato
E10/12	Benomil, carbendazim, carbofurán, carbosulfán, cloroformo, cloruro de metileno
E10/13	Benomil, carbaril, carbendazim, carbofurán, carbosulfán, formaldehído, cloruro de metileno, trietilamina
E10/14	Antimonio, arsénico, metam-sodio, ziram

E10/15	Benceno, diclorobencenos, triclorobencenos, tetraclorobencenos, pentaclorobenceno, hexaclorobenceno, cloruro de bencilo
E10/16	Benceno, monoclorobenceno, diclorobencenos, 2,4,6-triclorofenol
E10/17	Cloruro de bencilo, clorobenceno, tolueno, triclorobenceno
E10/18	1,2-dicloroetano, tricloroetileno, hexaclorobutadieno, hexaclorobenceno
E10/19	Dicloroetileno, 1,1,1-tricloroetano, 1,1,2-tricloroetano, tetracloroetanos (1,1,2,2-tetracloroetano y 1,1,1,2-tetracloroetano), tricloroetileno, tetracloroetileno, tetracloruro de carbóno, cloroformo, cloruro de vinilo, cloruro de vinilideno
E10/20	1,2,3,4,6,7,8-Heptaclorodibenzo-p-dioxina (1,2,3,4,6,7,8-HpCDD), 1,2,3,4,6,7,8-Heptaclorodibenzofurano (1,2,3,4,6,7,8-HpCDF), 1,2,3,4,6,7,8,9-Heptaclorodibenzofurano (1,2,3,4,6,7,8,9-HpCDF, HxCDDs (todas las Hexaclorodibenzo-p-dioxinas, HxCDFs (todos los Hexaclorodibenzofuranos, PeCDDs (todas las pentaclorodibenzo-p-dioxinas), OCDD (1,2,3,4,6,7,8,9-Octaclorodibenzo-p-dioxina), OCDF (1,2,3,4,6,7,8,9-Octaclorodibenzofurano), PeCDFs (todos los pentaclorodibenzofuranos), TCDDs (todas las Tetraclorodibenzo-p-dioxinas), TCDFs (todos los tetraclorodibenzofuranos)
E10/21	Mercurio
E10/22	Dibromuro de etileno
E10/23	Dibromuro de etileno
E10/24	Dibromuro de etileno
E10/25	Tetracloruro de carbóno, tetracloroetileno, cloroformo, fosgeno
E10/26	Diisocianato de tolueno, toluen-2,4-diamina
E10/27	1,1-Dimetilhidracina
E10/28	1,1-Dimetilhidracina
E10/29	1,1-Dimetilhidracina
E10/30	1,1-Dimetilhidracina
E10/31	2,4-Dinitrotolueno
E10/32	Epiclorohidrina, cloroéteres [bis(clorometil)éter y bis(2-cloroetil)éteres], tricloropropano, dicloropropanoles
E10/33	Breas de fenol (hidrocarburos poliaromáticos)
E10/34	Antimonio, tetracloruro de carbóno, cloroformo
E10/35	Paraldehído, piridinas, 2-picolina
E10/36	Anilina, benceno, difenilamina, nitrobenzeno, fenilendiamina
E10/37	meta-Dinitrobenzeno, 2,4-dinitrotolueno
E10/38	Hexaclorobenceno, hexaclorobutadieno, tetracloruro de carbóno, hexacloroetano, percloroetileno
E10/39	2,4-Toluendiamina, o-toluidina, p-toluidina, anilina
E10/40	2,4-Toluendiamina, o-toluidina, p-toluidina, anilina
E10/41	2,4-Toluendiamina, o-toluidina, p-toluidina
E10/42	2,4-Toluendiamina

E10/43	Triclorobenceno, cloruro de bencilo, cloroformo, clorometano, clorobenceno, 1,4-diclorobenceno, hexaclorobenceno, pentaclorobenceno, 1,2,4,5-tetraclorobenceno, tolueno
E10/44	Benceno, tetracloruro de carbóno, cloroformo, hexaclorobenceno, pentaclorobenceno, tolueno, 1,2,4,5-tetraclorobenceno, tetracloroetileno
E10/45	Tetracloruro de carbóno, cloroformo, clorometano, 1,4-diclorobenceno, hexaclorobenceno, pentaclorobenceno, 1,2,4,5-tetraclorobenceno, 1,1,2,2-tetracloroetano, tetracloroetileno, 1,2,4-triclorobenceno
E10/46	1,1,1-tricloroetano, cloruro de vinilo
E10/47	1,1,2-tricloroetano, 1,1,1,2-tetracloroetano, 1,1,2,2-tetracloroetano
E10/48	1,2-dicloroetano, 1,1,1-tricloroetano, 1,1,2-tricloroetano
E10/49	1,2-dicloroetano, 1,1,1-tricloroetano, cloruro de vinilo, cloruro de vinilideno, cloroformo
E10/50	Hexaclorobenceno, hexaclorobutadieno, hexacloroetano, 1,1,1,2-tetracloroetano, 1,1,2,2-tetracloroetano, dicloruro de etileno
NE 01	Asbestos
NE 02	Asbestos
NE 03	Asbestos
NE 04	Cianuro (complejos)
NE 05	Cadmio, cromo hexavalente, níquel, cianuro (complejos)
NE 06	Cromo hexavalente, cianuro (complejos)
NE 07	Cianuro (sales)
NE 08	Cianuro (sales)
NE 09	Cianuro (sales)
NE 10	Cianuro (sales)
NE 11	Cianuro (sales)
NE 12	Pentaclorodibenzo-p-dioxinas, hexaclorodibenzo-p-dioxinas, pentaclorodibenzofuranos, hexaclorodibenzofuranos, pentaclorofenol y sus derivados
NE 13	Tetraclorodibenzo-p-dioxinas, pentaclorodibenzo-p-dioxinas, hexaclorodibenzo-p-dioxinas, tetraclorodibenzofuranos, pentaclorodibenzofuranos, hexaclorodibenzofuranos
NE 14	Tetraclorodibenzo-p-dioxinas, pentaclorodibenzo-p-dioxinas, tetraclorodibenzofuranos, pentaclorodibenzofuranos, triclorofenoles, tetraclorofenoles y sus derivados ácidos, ésteres, éteres, aminas y otras sales clorofenóxicas
NE 15	Clorometano, diclorometano, triclorometano, tetracloruro de carbóno, cloroetileno, 1,1 dicloroetano, 1,2-dicloroetano, trans-1,2-dicloroetileno, 1,1-dicloroetileno, 1,1,1-tricloroetano, 1,1,2-tricloroetano, tricloroetileno, 1,1,1,2-tetracloroetano, 1,1,2,2-tetracloroetano, tetracloroetileno, pentacloroetano, hexacloroetano, cloruro de alilo (3-cloropropeno), dicloropropeno, dicloropropeno, 2-cloro-1,3-butadieno, hexacloro-1,3-butadieno, hexaclorociclopentadieno, benceno, clorobenceno, diclorobenceno, 1,2,4-triclorobenceno, tetraclorobenceno, pentaclorobenceno, hexaclorobenceno, tolueno, naftaleno

NE 16	Tetraclorodibenzo-p-dioxinas, pentaclorodibenzo-p-dioxinas, hexaclorodibenzo-p-dioxinas, tetraclorodibenzofuranos, pentaclorodibenzofuranos, hexaclorodibenzofuranos
NE 17	Benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, dibenz(a,h)antraceno, indeno(1,2,3-cd)pireno, pentaclorofenol, arsénico, cromo, tetraclorodibenzo-p-dioxinas, pentaclorodibenzo-p-dioxinas, hexaclorodibenzo-p-dioxinas, heptaclorodibenzo-p-dioxinas, tetraclorodibenzofuranos, pentaclorodibenzofuranos, hexaclorodibenzofuranos, heptaclorodibenzofuranos
NE 18	Benzo(a)antraceno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, dibenz(a,h)antraceno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno, arsénico, cromo
NE 19	Arsénico, cromo, plomo
NE 20	Todos los constituyentes que aparezcan en esta Norma Oficial Mexicana
NE 21	Tetraclorodibenzo-p-dioxinas, pentaclorodibenzo-p-dioxinas, hexaclorodibenzo-p-dioxinas, tetraclorodibenzofuranos, pentaclorodibenzofuranos, hexaclorodibenzofuranos, triclorofenoles, tetraclorofenoles, pentaclorofenoles y sus derivados ácidos, ésteres, éteres, aminas y otras sales clorofenóxicas

N.A.: No Aplica. Los residuos son peligrosos porque presentan características de Corrosividad, Reactividad, Explosividad y/o Inflamabilidad.





## FORMATOS DE OPERACIÓN

Fecha:

Operador	Entrada	Salida	Operador	Entrada	Salida

## RECEPCIÓN DE AGUA RESIDUAL

Limpieza de rejillas en registro de llegada (RG-01)					
RJ-01			RJ-02		
Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora

Operación de bombas sumergibles en cárcamo de bombeo (CB-01)								
BA-01	Paro	Arranque	BA-02	Paro	Arranque	BA-03	Paro	Arranque
Hora			Hora			Hora		
Hora			Hora			Hora		
Hora			Hora			Hora		

Limpieza de unidades de proceso								
Limpieza de rejillas (RJ-03) en registro de llegada (RG-02)						DE-01		RG-02
"A"			"B"			"A"	"B"	
Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora
RG-03	ZO-01	ZO-02	CS-01	CS-02	CS-03	CS-04	TC-01	
Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	

Determinación del gasto de entrada (L/s)							
01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00

Parámetros de campo								
Hora	Conductividad (mS/cm)		pH		Temperatura (°C)		Color (UPtCo)	Turbiedad (UNT)
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Salida	Salida
00:00								
04:00								
08:00								
12:00								
16:00								
20:00								

## SISTEMA BIOLÓGICO

Operación de aeradores superficiales (ZO-01)				Operación de aeradores superficiales (ZO-02)			
Opera	Sí	No	Observaciones	Opera	Sí	No	Observaciones
AS-01				AS-05			
AS-02				AS-06			
AS-03				AS-07			
AS-04				AS-08			

Operación de bombas en cárcamo de lodos (CL-01), para recirculación					
BL-01 "A"	Arranque	Paro	BL-01 "B"	Arranque	Paro
Hora			Hora		
Hora			Hora		
Hora			Hora		

Desnatado de sedimentadores secundarios							
CS-01		CS-02		CS-03		CS-04	
Hora		Hora		Hora		Hora	
Hora		Hora		Hora		Hora	
Hora		Hora		Hora		Hora	
Pruebas de sedimentabilidad de lodos							
Zanja de oxidación		ZO-01	SST (mg/L)			Hora:	
Minuto		5	10	15	20	25	30
Vol. de lodo (mL)							
Zanja de oxidación		ZO-01	SST (mg/L)			Hora:	
Minuto		5	10	15	20	25	30
Vol. de lodo (mL)							
Zanja de oxidación		ZO-02	SST (mg/L)			Hora:	
Minuto		5	10	15	20	25	30
Vol. de lodo (mL)							
Zanja de oxidación		ZO-02	SST (mg/L)			Hora:	
Minuto		5	10	15	20	25	30
Vol. de lodo (mL)							
Observaciones							
Nivel o colchón de lodos							
CS-01				CS-02			
Hora		Nivel (m)		Hora		Nivel (m)	
Hora		Nivel (m)		Hora		Nivel (m)	
Hora		Nivel (m)		Hora		Nivel (m)	
CS-03				CS-04			
Hora		Nivel (m)		Hora		Nivel (m)	
Hora		Nivel (m)		Hora		Nivel (m)	
Hora		Nivel (m)		Hora		Nivel (m)	

Determinación de oxígeno disuelto								
Hora	AS-01	AS-02	AS-03	AS-04	AS-05	AS-06	AS-07	AS-08
00:30								
04:30								
08:30								
12:30								
16:30								
20:30								

## DESINFECCIÓN

Operación de bombas de cloración (BA-04)					
"A"	Paro	Arranque	"B"	Paro	Arranque
Hora			Hora		

Desinfección			
Cilindro en operación		Bomba en operación	
Presión de manómetro < 5 kg/cm <sup>2</sup>		Flujo de gas cloro < 20 lb/24h	
Dosis (mg/L)		Cloro residual (mg/L)	

## TRATAMIENTO DE LODOS

Operación de bombas en cárcamo de lodos (CL-01), para purga					
BL-01 "A"	Arranque	Paro	BL-01 "B"	Arranque	Paro
Hora			Hora		
Hora			Hora		
Hora			Hora		
Hora			Hora		

Limpieza de unidades de proceso					
	RL-01			DL-01	
CL-01	A	B	C	A	B
Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora

Operación de sopladores (SO-01)											
“A”		Paro		Arranque		“B”		Paro		Arranque	
Hora						Hora					
Lechos de secado de lodos											
		Lleno		Se agregó lodo		Nivel de lodo		En limpieza		Vacío	
LS-01		Sí	No	Sí	No			Sí	No	Sí	No
LS-02		Sí	No	Sí	No			Sí	No	Sí	No
LS-03		Sí	No	Sí	No			Sí	No	Sí	No



## EVALUACIÓN DE INDICADORES VISUALES

### RECEPCIÓN DE AGUA RESIDUAL

Bombas sumergibles en en cárcamo de bombeo (CB-01)				
Bomba	Bajo gasto	Movimiento	Ruidos	Otro
BA-01				
BA-02				
BA-03				

### SISTEMA BIOLÓGICO

Zanja de oxidación (ZO-01)				
COLOR	Café	Negro	Verde	Otro
Observaciones				
FLÓCULO	Esponjoso	Disperso	Pesado	Homogéneo
Observaciones				
OLOR	Humedad	Ligero	Séptico	Otro
Observaciones				
TURBULENCIA	Homogénea	Heterogénea	Ubicar zonas	Otro
Observaciones				
EQUIPOS	Temperatura	Movimiento	Ruidos	Otro
AS-01				
AS-02				
AS-03				
AS-04				
Observaciones				

Zanja de oxidación (ZO-02)				
COLOR	Café	Negro	Verde	Otro
Observaciones				
FLÓCULO	Esponjoso	Disperso	Pesado	Homogéneo
Observaciones				
OLOR	Humedad	Ligero	Séptico	Otro
Observaciones				
TURBULENCIA	Homogénea	Heterogénea	Ubicar zonas	Otro
Observaciones				
EQUIPOS	Temperatura	Movimiento	Ruidos	Otro
AS-05				
AS-06				
AS-07				
AS-08				
Observaciones				

Sedimentador secundario				
Turbiedad	Burbujas	Materia flotante	Cortocircuito	Acumulación de sólidos
(CS-01)				
(CS-02)				
(CS-03)				
(CS-04)				
Observaciones				

## DESINFECCIÓN

EQUIPOS	Temperatura	Movimiento	Ruidos	Otro
BA-04 "A"				
BA-04 "B"				

GENERALES								
ESPUMA	Entrada	Zanja de oxidación		Sedimentador				Tanque de contacto de cloro (TC-01)
		ZO-01	ZO-02	CS-01	CS-02	CS-03	CS-04	
Observaciones								
ALGAS	Entrada	Zanja de oxidación		Sedimentador				Tanque de contacto de cloro (TC-01)
		ZO-01	ZO-02	CS-01	CS-02	CS-03	CS-04	
Observaciones								

## TRATAMIENTO DE LODOS

Bombas de lodos (BL-01)				
Bomba	Bajo gasto	Movimiento	Ruidos	Otro
"A"				
"B"				

Digestor aerobio (DA-01)				
COLOR	Café	Negro	Verde	Otro
Observaciones				
FLÓCULO	Esponjoso	Disperso	Pesado	Homogéneo
Observaciones				
OLOR	Humedad	Ligero	Séptico	Otro
Observaciones				
TURBULENCIA	Homogénea	Heterogénea	Ubicar zonas	Otro
Observaciones				
EQUIPOS	Temperatura	Movimiento	Ruidos	Otro
SO-01 “A”				
SO-01 “B”				

Observaciones				
<b>Digestor aerobio (DA-02)</b>				
COLOR	Café	Negro	Verde	Otro
Observaciones				
FLÓCULO	Esponjoso	Disperso	Pesado	Homogéneo
Observaciones				
OLOR	Humedad	Ligero	Séptico	Otro
Observaciones				
TURBULENCIA	Homogénea	Heterogénea	Ubicar zonas	Otro
Observaciones				
EQUIPOS	Temperatura	Movimiento	Ruidos	Otro
SO-01 "A"				
SO-01 "B"				
Observaciones				

## FORMATOS DE CONTROL DE ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA

### FORMATO 1 Calidad del agua residual y tratada

Nombre de la planta: \_\_\_\_\_

Parámetro	Diseño		Real	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Q = Gasto (L/s)				
DBO <sub>5</sub> = Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)				
DQO = Demanda química de oxígeno (mg/L)				
SST = Sólidos suspendidos totales (mg/L)				
SSV = Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)				
SSVLM = SSV en el licor mezclado (mg/L)				
SSVr = SSV en la recirculación (mg/L)				
NH <sub>3</sub> = Nitrógeno amoniacal (mg/L)				
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = Nitrógeno de nitratos (mg/L)				
NT = Nitrógeno Total (mg/L)				
PT = Fósforo total (mg/L)				
T = Temperatura (°C)				
pH = Potencial Hidrógeno				
A/M = Relación alimento microorganismos				
Grasas y aceites (mg/L)				



## FORMATO 2 Lista y verificación de equipos por unidad de proceso

Nombre de la planta:					
<b>Tanque de regulación u homogenización</b>					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible causa
			Sí	No	
<b>Sedimentador primario</b>					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible causa
			Sí	No	
<b>Reactor biológico</b>					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible causa
			Sí	No	
<b>Sedimentador secundario</b>					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible causa
			Sí	No	
<b>Desinfección</b>					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible causa
			Sí	No	
<b>Caja o tanque de lodos</b>					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible causa
			Sí	No	
<b>Deshidratación de lodos</b>					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible causa
			Sí	No	

### FORMATO 3 Registro de parámetros de control de arranque

Nombre de la planta: \_\_\_\_\_ Mes/año: \_\_\_\_\_

Analista: \_\_\_\_\_ Módulo: \_\_\_\_\_

Parámetro	SSTLM	SSVLM	ENTRADA				SALIDA			
Día			DBO	DQO	SST	TURB.	DBO	DQO	SST	TURB.
1										
2										
3										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

#### FORMATO 4 Registro de prueba de sedimentabilidad e IVL

Nombre de la planta: \_\_\_\_\_ Mes/año: \_\_\_\_\_

Analista: \_\_\_\_\_ Módulo: \_\_\_\_\_

[illegible]

**Formato 5 Volúmenes de inóculo**

Lugar de procedencia: \_\_\_\_\_

Módulo 1										
Día										
Volumen (m <sup>3</sup> )										
SST (mg/L)										
Módulo 2										
Día										
Volumen (m <sup>3</sup> )										
SST (mg/L)										





## Artículos

- Amaravadi L., Bisesi M.S., y Bozarth R.F. (1990). Vermial virucidal activity: Implications for management pathogenic biological wastes on land. *Biological Wastes*, **34**(4), 349-358.
- Appelhof M., Webster K. y Buckerfield J. (1996). Vermicomposting in Australia and New Zealand. *Biocycle*, **37**(6), 63-4.
- Chick W. H. (1908). An investigation of the laws of disinfection. *Journal of Hygiene*, **8**(1), 92-158.
- Chosson J. y Dupuy. P. (1983). Improvement of the cellulolytic activity of a natural population of aerobic bacteria. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, **18**(3), 163-167.
- Culp R. L. (1977). Direct filtration. *American Water Works Association*, **69**(7), 375-378.
- Dante L. L. y M. M. Haggblom (1999). Earthworm egg capsules as vectors for the environmental introduction of biodegradative bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, **65**(6), 2376-2381.
- Dickson N., Richard T. y Kozlowski R. (1991). Composting to reduce the waste stream: a guide to small scale food and yard waste composting. *Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service*, **43**, 44.
- Eastman B. R. (1999). Achieving pathogen stabilization using vermicomposting. *BioCycle*, **40**(11), 62-64.
- Golueke C. G., y Díaz F. L. (1987). Composting and the limiting factor principle, *BioCycle*, **28**(4), 22-61.
- Gray K. R., Sherman K. y Biddlestone A. J. (1971). A review of composting - Part 1. *Process Biochemistry*, **6**(6), 32-36.
- Harris G. D., Platt W. L. y Price B. C. (1990). Vermicomposting in a rural community. *Biocycle*, **31**(1), pp. 48-51.
- Harsterstein R., Neuchauser E. F. y Kaplan D. L. (1979). Reproductive potential of the earthworm *Eisenia Foetida*. *Oecologia*, **43**, 329-340.



- Hartenstein R. (1981). Potential use of earthworms as a solution to sludge management. *Water Pollution Control*, **80**(5), 638-643.
- Hartenstein R. (1982). Metabolic parameters of the earthworms *Eisenia Foetida* in relation to temperature. *Biotechnology and Bioengineering*, **24**, 1803-1811.
- Hartenstein, R., Kaplan D. L. y Neuhauser E. F. (1984). Earthworms and trickling filters for wastewater treatment. *Water Pollution Control Federation*, **56** (3), 294-298.
- Hornor S. G. y Mitchell M. J. (1981). Effect of the earthworm, *Eisenia Foetida* (*Oligochaeta*), on fluxes of volatile carbon and sulfur compounds from sewage sludge. *Soil Biology and Biochemistry*, **13**(5), 367-373.
- Jiménez B., Barrios J. A. y Maya C. (2000). Class B biosolids production from wastewater sludge with high pathogenic content generated in an advanced primary treatment. *Water Science and Technology*, **42**(9), 103-110.
- Kaplan DL, Hartenstein R, Neuhauser E.F. y Malecki M. R. (1980). Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia Foetida*. *Soil Biology and Biochemistry*, **12**(4), 347-352.
- Lettinga G., van Velsen A. F. M., Hobma S. W., de Zeeuw W. y Klapwijk A. (1980). Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, **22**(4), 699-734
- Loehr R. C., Martin J. H. y Neuhauser E. F. (1985). Liquid sludge stabilization using vermistabilization. *Water Pollution Control Federation*, **57**(7), 817-826.
- Loehr R. C., Neuhauser E. F. y Malecki M. R. (1985). Factor affecting the vermistabilization process: temperature, moisture content and polyculture. *Water Research*, **19**(10), 1311-1317.
- Lossin, R. D. (1971). Compost studies, Part III. Disposing of animal wastes: measurement of the chemical oxygen demand of compost. *Compost Science*, **12**(2), 31-32.
- Mitchell M. J., Hornor S. G. y Abrams B. I. (1980). Decomposition of sewage sludge in drying beds and the potential role of the earthworm, *Eisenia Foetida*. *Environmental Quality*, **9**(3), 373-378.
- Mitchell M. J., Mulligan R. M., Hartenstein R. y Neuhauser E. F. (1977). Conversion of sludges into "topsoils" by earthworms. *Compost Science*, **18**(4), 28-32.
- Obregón S. M. G. (2004). Una semblanza sobre seguridad Industrial. UPIICSA **35**.
- Willson B. G. y David D. (1986). Measuring compost stability. *BioCycle*, **27**(7), 34-37.
- Young J. C. y Perry L. (1969). The anaerobic filter for waste treatment. *Water Pollution Control Federation*, **41**(5), 160-173
- Zucconi F. y Marco B. (1987). Specifications for solid waste compost. *BioCycle*, **32**(1), 56-62.

## Libros

- Black C. A. (1965). *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy and the American Society for Testing and Materials. Madison.
- CNA-IMTA, 1994. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, 3a sección: Potabilización y Tratamiento. 1ra Ed. Registro ISBN 968-7417-00-5. Jiutepec. México.
- CONAGUA (2007). *Estadísticas del agua en México. Edición 2008*. 1a Ed. D.F., México.
- Eckenfelder W. W. (1988). *Industrial water pollution control*. 1a Ed. McGraw Hill. College Division, EUA.
- Environmental Protection Agency (1979). *Process design manual sludge treatment and disposal*. Center for Environmental Research Information Technology Transfer. EPA 625/1-79-011. EUA.
- Environmental Protection Agency (1986). *Process design manual. Land application of municipal sludge*, EPA-625/1-83-016, A-1. Cincinnati, EUA.
- Environmental Protection Agency, (1988). *Analytical method for the national sewage sludge survey*, EPA 820R88100, Office of Water Regulations and Standards (WH-522) Industrial Technology Division. EUA.
- Escalante E. V. E., Sánchez G. M., Pozo R. F., Rivas H. A. (2000). *Identificación de procesos biológicos de tratamiento*. Manual de bolsillo. IMTA-CNA. Registro ISBN: 968-7417-75-7. Jiutepec. México.
- Gonzalez G. N. (2005). *Seguridad e higiene industrial. Principios Gerenciales*. Editado por el autor. ISBN 980-296-691-6. Maracaibo, Venezuela.
- Haug R. T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publisher, Boca Raton.
- Lankford P. W. y Eckenfelder W. Jr. (1990). *Toxicity reduction in industrial effluents*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Metcalf y Eddy Inc. (2003). *Wastewater engineering, treatment and reuse*. 4a Ed. McGraw Hill. Nueva York.
- Poincelot R. P. (1975). *The Biochemistry and Methodology of Composting*. Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin 754.
- Ramhalo R. S. (1993). *Tratamiento de aguas residuales*. 2a Ed. Editorial Reverté S. A. Barcelona.
- Real Academia Española (1999). *Diccionario de la lengua española*. 21a Ed. Espasa Calpe S. A. Madrid.
- Reynolds T. D., y Richards P. A. (1995). *Unit operation and processes in environmental engineering*. 2a Ed. PWS, Publishing Company, Boston.
- Richards L. A. (1998). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. 6a Ed. LIMUSA, México.
- Romero R. J. (2005). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. 3a Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.

- Standard methods for the examination of water and wastewater* (1998). 20a Ed. American Public Health Association/ American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, D.C, USA.
- Standards for the Use and Disposal of Sewage Sludge* (1994). Water Environment Federation: 58 (9248-9415). US EPA. Washington DC, EUA.
- Syed R. Q. (1999). *Wastewater treatment plants, planning, design and operation*. 1a Ed. Technomic Publishing Company. Lancaster.
- Tchonanoglous G. y Schroeder E. D. (1987). *Water quality: characteristics, modeling, modification*. Addison Wesley Longman. Michigan.
- Treybal E. R. (1984). *Operaciones de Transferencia de Masa*. McGraw-Hill. 2a Ed. Naucalpan de Juárez.
- Vesilind P. A., Hartman G. C. y Skene E. T. (1988). *Sludge management & disposal for the practicing engineer*. Lewis Publisher, Inc. Michigan.
- Informes y reportes
- Camp, Dresser y McKee Inc. (1980). *Compendium on solid waste management by vermicomposting*, US EPA, Municipal Environmental Research Laboratory, Technical Report No. EPA-600/8-80-033, Cincinnati, EUA.
- Cardoso V. L., Ramírez C. E. y Rivas H. A. (2000). *Instalación de un sistema de vermiestabilización a escala real en una planta de tratamiento municipal*. Informe final. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, México.
- Cardoso V. L., Ramírez C. E., Escalante E. V. y Moeller Ch. G. (1999). *Criterios y especificaciones técnicas para la disposición o uso de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales: Parte III Alternativas de solución al tratamiento y aprovechamiento de los lodos residuales y lirio acuático por vermicomposteo*. Proyecto TC-9911, Contratado por la Subdirección General de Construcción, Gerencia de Proyectos de Agua Potable y Saneamiento de la Comisión Nacional del Agua. (Sección 4.3.1. Informes Técnicos), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, México.
- Cardoso V. L., Ramírez C. E., Lugo V. N. y Figueroa C. O. (1999). *Alternativas de solución al tratamiento y aprovechamiento de lodos residuales y lirio acuático por vermicomposteo*. Informe final del Proyecto Contratado por Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, México.
- Collier J. E. y Livingstone D. (1982). *Conversion of municipal wastewater treatment plant residual sludges into earthworm castings for use as topsoil*, National Science Foundation, Technical Report No. NSF/CEE-81008, Washington, EUA.
- Guerra A. D. (1982). Los discos biológicos como un sistema de tratamiento de aguas residuales. *Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos*. D.F., México.
- Hartenstein R. (1981). *Utilization of earthworms and microorganisms in stabilization, decontamination and detoxification of residual sludges from treatment of wastewater*.

- Technical Report No. NSF / CEE-81009, National Science Foundation, Washington DC, EUA.
- Loehr R. C., Martin J. H., Neuhauser E. F. y Malecki M. R. (1984). *Waste management using earthworms: engineering and scientific relationships*, Report No. NSF / CEE-84007 National Science Foundation, Washington DC, EUA.
- Robinson D., White J. y González R. (1995) Planta de tratamiento de aguas residuales "Dulces Nombres". *Burns & McDonnell Engineering Company*, 1-5.
- Stafford E. A. y Edwards C. A. (1986). *Comparison of heavy metal uptake by Eisenia Foetida with that of other common earthworms*. Technical Report No. AD-A164-779/1/XAB US Department of Commerce, National Technical Information Service, Springfield, VA, EUA, p. 83.

## Memorias y compilaciones

- Burge W. D. y Colaccio. (1979). Criteria for achieving pathogen destruction during sewage sludge composting. National Conference and Exhibition on Municipal and Industrial Sludge Composting. Sponsored by Information Transfer, Inc. Rockville, EUA.
- Cardoso V. L. y Ramírez C. E. (2000). Vermiestabilización de lodos residuales y lirio acuático En: *Memorias del XXVII Congreso Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Las Americas y la acción por el Medio Ambiente en el Milenio*. Porto Alegre, Brasil, p. 110.
- Cardoso V. L., Ramírez C. E., Garzón Z. M., Chacón J. M. y Paredes J. L. (2007). Treatments techniques for the biosolids production in the petrochemical industry. En: *Conference Proceedings, IWA Specialist Conference. Moving Forward: Wastewater biosolids sustainability: Technical, managerial and public synergy*. R. J. LeBlanc, P. J. Laughton and R. Tyagi. *ILA International Water Association*. Moncton, Canada, pp. 965-971.
- Galván M., de Victorica J. y Rojas Ma. N. (1996). Evaluación rápida de la viabilidad de los Huevos de Helminto con colorantes biológicos. En: *Memorias del congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, (AIDIS). Gestión ambiental en el siglo XXI*. Lima, Perú, pp. 1-16.
- Ramírez C. E., López Armenta, S., Cardoso V. L., Mijaylova N. P., Moeller C. G. (2000). Transformaciones en la digestión alcalina de lodos residuales municipales. En: *Memorias del XXVII Congreso Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Las Americas y la acción por el Medio Ambiente en el Milenio*. Porto Alegre, Brasil, p.111.
- Van den Berg. L. y Lentz. C. P. (1979). Comparison between up- and down-flow anaerobic fixed film reactors of varying surface-to-volume rations for the treatment of beans blanching waste. In: *Proceedings of the 34rd. Industrial Waste Conference*. Purdue University Lafayette, Indiana. Ann Arbor Science Publisher Inc. Michigan, pp. 319-325.

## Leyes reglamentos y normas

LAN (2004). Ley de Aguas Nacionales, México.

NMX-AA-003-1980. Aguas Residuales- Muestreo.

NMX-AA-004-SCFI-2000. Análisis de agua - Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-004-1977)

NMX-AA-006-2000. Análisis de Agua - determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas- Análisis de agua - determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-006-1973).

NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis del agua- Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba (Cancela a las NMX-AA-020-1980 y NMX-AA-034-1981).

NMX-AA-42-1987. Calidad del agua Determinación del numero mas probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (Termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva.

NMX-AA-102-1987. Calidad de Agua - Detección Enumeración de Organismos Coliformes, Organismos Coliformes Termotolerantes y *Escherichia coli* Presuntiva- Método de Filtración en Membrana.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-001-STPS-2008. Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo- Condiciones de seguridad.

NOM-002-SCT/2003. Listado de las sustancias y materiales peligrosos mas usualmente transportados.

NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NOM-002-STPS-2000. Condiciones de seguridad, prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo.

NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

NOM-004-STPS-1999. Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo.



- NOM-005-STPS-1998. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.
- NOM-010-STPS-1999. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.
- NOM-011-STPS-1993. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.
- NOM-017-STPS-2008. Equipo de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
- NOM-018-STPS-2000. Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
- NOM-019-STPS-2004. Constitución, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene de los centros de trabajo.
- NOM-026-STPS-1998. Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
- NOM-027-STPS-1993. Señales y avisos de seguridad e higiene.
- NOM-028-STPS-1993. Seguridad - código de colores para la identificación de fluidos conducidos en tuberías.
- NOM-030-STPS-2006. Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo -organización y funciones.
- NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos los peligrosos.
- NOM-053-SEMARNAT-1993. Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
- NOM-067-SEMARNAT-1994. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.
- NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Protección ambiental - salud ambiental - residuos peligrosos biológico - infecciosos - clasificación y especificaciones de manejo.
- NOM-113-STPS-2009. Seguridad - equipo de protección personal - calzado de protección -clasificación, especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-114-STPS-1994. Sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo.
- NOM-115-STPS-2009. Seguridad - equipo de protección personal - cascos de protección - clasificación, especificaciones y métodos de prueba.



- NOM-116-STPS-2009. Seguridad - Equipo de protección personal - respiradores purificadores de aire de presión negativa contra partículas nocivas - especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-133-SEMARNAT-2000. Protección ambiental - bifenilos policlorados (BPCS) - especificaciones de manejo.
- NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.
- NOM-141-SEMARNAT-2003. Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales.
- NOM-CCA-031-SEMARNAT 1993. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

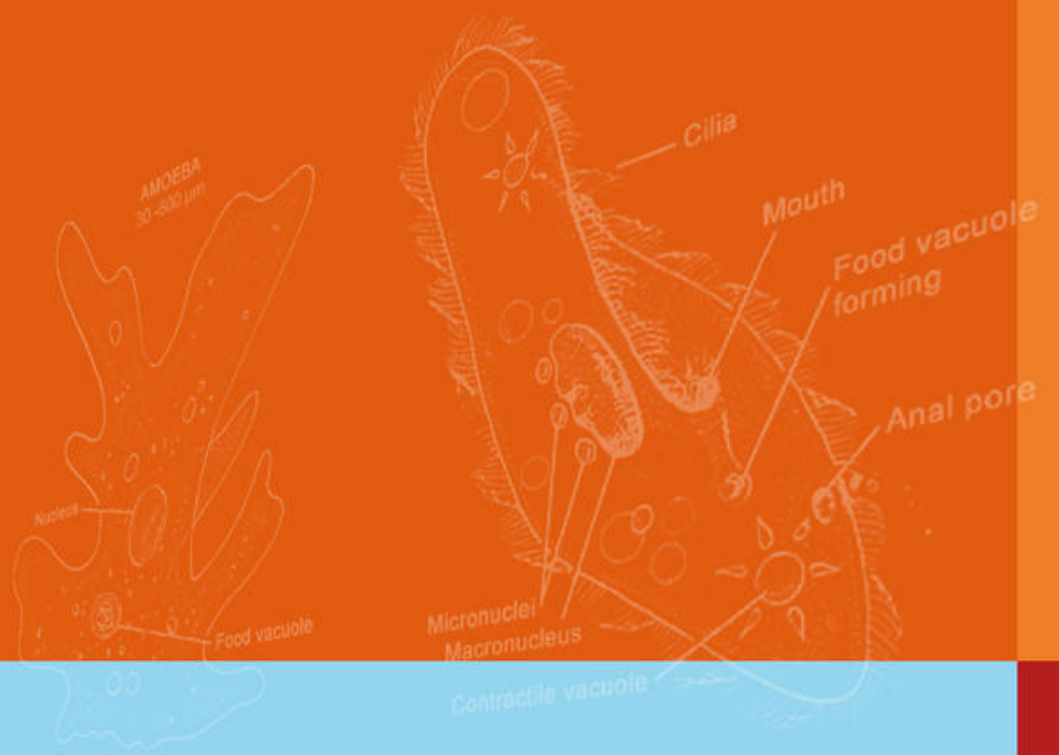
### **Páginas de internet**

- ABS (2009). ABS Group. <http://www.absgroup.com.es/home.asp>. (acceso 02 de febrero de 2009)
- Aeration Industries International (2009). Aire-O<sub>2</sub>: Aspirator aerator. The industry workhorse since 1974. <http://www.aireo2.com/main.asp?pind=aspirator> (acceso 12 de marzo de 2009).
- Decantek (2009). Soluciones medioambientales para el tratamiento del agua: Sedimentación. <http://www.decantek.com/> (acceso 15 de abril de 2009).
- Gardner Denver (2009). Sopladores centrífugos multietapas/extractores. <http://www.pronesa.com/partes.pdf>.
- Impel (2009). Impel de México S.A. de C.V.: Innovación en tecnología ambiental. <http://www.impel.com.mx/productos.htm> (acceso 10 de febrero de 2009).
- Kaeser (2009). Kaeser compresores: Catálogo de productos. [http://mx.kaeser.com/Products\\_and\\_Solutions/default.asp](http://mx.kaeser.com/Products_and_Solutions/default.asp) (acceso 05 abril de 2009).
- Mixing System Inc (2009). Technology. <http://www.mixing.com/technology/default.asp> (acceso 17 marzo de 2009).
- Myers, P. (2001). AD: Animal Diversity Web. Phylum Annelida, Segmented worms. <http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Annelida.html> (acceso 31 de octubre de 2009)
- Richard, T. y Trautmann N. (1996) CWMI: Cornell Waste Management Institute. C/N Ratio. [http://compost.css.cornell.edu/calc/cn\\_ratio.html](http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html) (acceso 29 de enero 2009).
- Schuldt (2002). Estrucplan. Capacitación en lombricultura. <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?idarticulo=164> (acceso 5 junio 2007).

SSI (2009). Stamford Scientific International Inc.: Servicios Globales de Tratamiento de Aguas Residuales. <http://www.stamfordscientific.es/> (acceso 25 de enero de 2009).

PARAMECIUM  
100 - 350  $\mu\text{m}$

AMOEBA  
30 - 500  $\mu\text{m}$



Dorsal view

Sucking disc, Nucleus



VENTRICELLA  
20 - 150  $\mu\text{m}$



GIARDIA  
15  $\mu\text{m}$  by 10-20  $\mu\text{m}$



SEMARNAT