

**COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE BAJA CALIFORNIA  
INSTITUTO ESTATAL DEL AGUA  
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN**



**BAJACALIFORNIA**  
GOBIERNO DEL ESTADO

**CONVENIO DE COLABORACIÓN ESPECÍFICO  
CEABC – IMTA 1-2017**

**INFORME FINAL**

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE  
AGUA RESIDUAL DE LOS SISTEMAS MEXICALI II Y IV  
DE LA CIUDAD DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA**

**DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA ADECUACION DEL  
PROCESO BIOLOGICO DE LA PTAR DE TECATE, BAJA  
CALIFORNIA**

**CURSO DE PLANTAS  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA OPERADORES**

---

Realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario que se integró con la coordinación del Instituto Estatal del Agua de la CEABC, la asesoría técnica del M.I. Antonio Ramírez González del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y personal técnico de la Subdirección de Agua y Saneamiento de la CESP.M.



**COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE BAJA CALIFORNIA  
INSTITUTO ESTATAL DEL AGUA  
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN**



**BAJACALIFORNIA**  
GOBIERNO DEL ESTADO

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE  
AGUA RESIDUAL DE LOS SISTEMAS MEXICALI II Y IV  
DE LA CIUDAD DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA**

---

**Realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario que se integró con la coordinación del Instituto Estatal del Agua de la CEABC, la asesoría técnica del M.I. Antonio Ramírez González del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y personal técnico de la Subdirección de Agua y Saneamiento de la CESP.**

**Mexicali, Baja California, marzo 2017**



## Contenido

---

<b>Resumen ejecutivo</b> .....	<b>i</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Objetivo</b> .....	<b>2</b>
<b>3. Antecedentes</b> .....	<b>3</b>
3.1 Gastos y calidad.....	<b>6</b>
3.2 Pago de derechos.....	<b>11</b>
<b>4. Consideraciones generales</b> .....	<b>12</b>
<b>5. Esquemas generales del manejo del agua residual en los Sistemas Mexicali II y IV</b> .....	<b>18</b>
<b>6. Datos básicos</b> .....	<b>20</b>
<b>7. Metodología y consideraciones para integrar las alternativas</b> .....	<b>22</b>
<b>8. Alternativas</b> .....	<b>23</b>
8.1. Alternativas generales.....	<b>23</b>
8.2. Alternativas particulares .....	<b>23</b>
8.3. Alternativas específicas .....	<b>30</b>
<b>9. Predimensionamiento de la mejor alternativa</b> .....	<b>33</b>
<b>10. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>42</b>
<b>11. Personal del equipo multidisciplinario</b> .....	<b>44</b>
<b>12. Referencias</b> .....	<b>45</b>

## Tablas

Tabla 1. Gastos promedio 2016 en litros por segundo .....	4
Tabla 2. Gastos promedio mensuales 2007-2016 .....	7
Tabla 3. Principales parámetros de diseño y requeridos .....	9
Tabla 4. Reporte de los principales parámetros de calidad en el 2016 .....	10
Tabla 5. Aplicación de la cuota del pago de derechos.....	11
Tabla 6. Pago de derechos de 2014 a 2016 .....	12
Tabla 7. Calidad de entrada en PTAR "Las Arenitas" 2014-2015.....	13
Tabla 8. Proyección del gasto hasta el 2037 .....	16
Tabla 9. Proyección conservadora del pago de derechos hasta el 2024 .....	16
Tabla 10. Proyección pesimista del pago de derechos hasta el 2024 .....	17
Tabla 11. Datos básicos para el diseño conceptual.....	20
Tabla 12. Alternativas generales .....	23
Tabla 13. Análisis de alternativas particulares.....	29
Tabla 14. Análisis de alternativas específicas .....	32
Tabla 15. Comparación de alternativas específicas.....	33
Tabla 16. Alternativas específicas finales.....	33

## Figuras

Figura 1. Plano del sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Mexicali .....	2
Figura 2. Mapa del predio denominado "Las Arenitas" .....	3
Figura 3. Plano del perfil hidráulico de PTAR "Las Arenitas" .....	4
Figura 4. Diagrama de procesos de PTAR "Las Arenitas" .....	5
Figura 5. Plano con las curvas de nivel de "Las Arenitas".....	5
Figura 6. Condiciones y características generales de operación .....	6
Figura 7. Gasto anual promedio 2007-2017 .....	7
Figura 8. Pozo 21 de la descarga del efluente.....	8
Figura 9. Plano de emisores y descarga de PTAR Las Arenitas .....	8
Figura 10. Características del agua residual cruda y tratada según las bases de diseño de Earth Tech .....	9
Figura 11. Restricciones en el cumplimiento de la calidad del agua residual según las bases de diseño de Earth Tech .....	10
Figura 12. Sólidos en lagunas aireadas en 2015.....	14
Figura 13. Propuesta de modificación de la NOM-001-SEMARNAT-1996 .....	15
Figura 14. Curva de proyección del gasto de aportación de los sistemas Mexicali II y IV 2017 al 2037 .....	15
Figura 15. Plano del sistema de alcantarillado y saneamiento de la ciudad de Mexicali .....	19
Figura 16. Alternativa A1. Reingeniería de la planta actual y ampliación de la capacidad de tratamiento hasta 1,500 L/s mediante una planta de lodos activados convencional .....	35
Figura 17. Alternativa A2. Reingeniería de la planta actual y ampliación de la capacidad de tratamiento hasta 1,500 L/s mediante una planta con filtros percoladores.....	37
Figura 18. Alternativa B1. Reingeniería de la planta actual con la construcción de una planta de lodos activados convencional con una capacidad de 840 L/s .....	40
Figura 19. Alternativa B2. Construcción de planta de tratamiento de lodos activados en la ciudad de 660 L/s, para una capacidad total de 1,500 L/s.....	41



---

## Resumen ejecutivo

Este documento presenta una síntesis sobre las tres alternativas seleccionadas para el mejoramiento y/o rehabilitación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Las Arenitas", la cual da tratamiento al 45% del agua residual generada en la zona urbana.

También incluye la ampliación de la capacidad de tratamiento de las aguas residuales recolectadas en los sistemas de alcantarillado sanitario Mexicali II y IV de la ciudad de Mexicali, para una proyección de población hasta el 2037, y por ende del caudal a tratar, llegando a 1,500 L/s, tomando en cuenta la tasa de crecimiento poblacional de la ciudad de Mexicali del 2.3% según el Consejo Nacional de Población.

Las condicionantes para el diseño conceptual de las alternativas de tratamiento son principalmente: Aprovechar al máximo la infraestructura existente en la PTAR "Las Arenitas"; analizar la posibilidad de nuevas instalaciones de tratamiento; realizar un diseño modular; optimizar el pretratamiento; tomar en cuenta la generación, tratamiento y disposición de lodos en la cogeneración de energía; el nuevo caudal a tratar; La caracterización actualizada del agua cruda; el cumplimiento de todos los parámetros de calidad de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996 de manera continua a lo largo del año;

Desde el 2014 ha sido rebasada la capacidad de diseño de 840 litros por segundo de la PTAR "Las Arenitas", además debido al incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total en la descarga de la planta, se han pagado por derechos de descarga, la cantidad de \$13'201,055.00 entre 2014 y 2016. Según las proyecciones del pago de derechos, en el periodo del 2017 al 2024 se estaría pagando un total que puede fluctuar desde 151 hasta 226 millones de pesos.

Como resultado del análisis de varias alternativas para dar solución al tratamiento de las aguas residuales generadas en los sistemas de alcantarillado Mexicali II y IV, y teniendo como horizonte final el 2037, se seleccionaron para su análisis final las tres alternativas siguientes:

- Reingeniería de la planta actual y ampliación de la capacidad de tratamiento hasta 1,500 L/s mediante una planta dual que incluya lodos activados convencional y cogeneración de energía.
- Reingeniería de la planta actual y ampliación de la capacidad de tratamiento hasta 1,500 L/s mediante una planta dual que incluya filtros percoladores y cogeneración de energía.

- 
- Reingeniería de la planta actual con la construcción de una planta dual que incluya lodos activados convencional con una capacidad de 840 L/s y construcción de una planta de tratamiento nueva de lodos activados, ubicada en la ciudad con una capacidad de 660 L/s, para una capacidad total de 1,500 L/s. Con posible conducción y tratamiento de lodos centralizado en Las Arenitas para cogeneración de energía.

El análisis de alternativas para el diseño conceptual se llevó a cabo en las instalaciones de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), del 6 al 10 de marzo del 2017, mediante un equipo multidisciplinario integrado específicamente para este propósito, con personal del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), cuya responsabilidad fue la asesoría técnica, así como la participación activa de personal de la Subdirección de Agua y Saneamiento de la CESPM, y de la CEABC quien también fungió como coordinador. Este trabajo, en la parte correspondiente al planteamiento de alternativas, análisis y costeo fue realizado en una semana, sin embargo, estamos conscientes que requiere mayor profundidad en el análisis, especialmente en el costeo de las alternativas.

## **1. Introducción**

Para el adecuado funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, es necesario que se realice una planeación detallada, que no omita ningún aspecto relevante en las fases de diseño; que la información base recabada y utilizada, sea revisada y validada, buscando con esto que la planta de tratamiento diseñada, construida y finalmente en operación, pueda soportar las variaciones en cantidad y calidad del agua residual que ingresa a la planta de tratamiento, y desde luego que sea capaz de producir un efluente con la calidad establecida en el diseño y acorde al tipo de reúso y/o aprovechamiento considerado en las Normas Oficiales Mexicanas. La implementación sistemática de estos procedimientos garantizará que todos los proyectos sean exitosos.

El Estado de Baja California tiene un número importante de plantas de tratamiento de aguas residuales, por lo cual se hace necesario realizar en todas ellas una evaluación integral, que contemple desde el diseño hasta la operación y mantenimiento, donde se revisen las desviaciones que en su caso existan entre el proyecto ejecutivo y la obra terminada, los procedimientos operativos versus el manual de operación, el mantenimiento de los equipos electromecánicos, las prácticas administrativas y el estado general de la planta.

Como consecuencia de lo anterior se forma el grupo evaluador de plantas de tratamiento de aguas residuales (GEPTAR), coordinado por la Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEABC), a través de la Coordinación de Investigación del Instituto Estatal del Agua; para potenciar el trabajo en equipo de los profesionales relacionados directamente con el área, en cada uno de los organismos operadores de los servicios de agua y saneamiento en los municipios del Estado, y de esta forma aprovechar el intercambio de experiencias, generando una sinergia que provoque un trabajo progresivo y constante, la mejora continua de la operatividad y el cumplimiento estricto de la normatividad aplicable, así como de los objetivos particulares en cada planta.

Se consideró la importancia de contar con asesoría de amplia experiencia en el manejo del tema, para lo cual se contrataron los servicios del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), a través del M.I. Antonio Ramírez González para fungir como asesor del GEPTAR en el análisis conceptual que contenga la alternativa óptima para el mejoramiento de las condiciones actuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Arenitas y la ampliación de la capacidad de tratamiento de aguas residuales de los sistemas Mexicali II y IV de la ciudad de Mexicali.

Este documento presenta el análisis general de alternativas, teniendo como propósito seleccionar las mejores tres, para de forma conceptual llevarlas a un mayor análisis. Estos trabajos se llevaron a cabo en las instalaciones de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali del 6 al 10 de marzo del 2017. Los trabajos se realizaron durante una semana de discusión y posteriormente en gabinete, por lo que sus resultados son preliminares y requieren mayor profundidad, especialmente en costeo de alternativas.

## 2. Objetivo

Desarrollar al menos tres alternativas específicas con un análisis conceptual completo que permita identificar la alternativa óptima para el mejoramiento de las condiciones actuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Arenitas y la ampliación de la capacidad de tratamiento de las aguas residuales recolectadas en los sistemas de alcantarillado sanitario denominados Mexicali II y IV de la ciudad de Mexicali, (ver figura 1), debido a que la capacidad de tratamiento instalada se ha visto rebasada por el volumen actual de las aguas residuales que se generan en los sistemas mencionados y que son enviadas a esta planta.

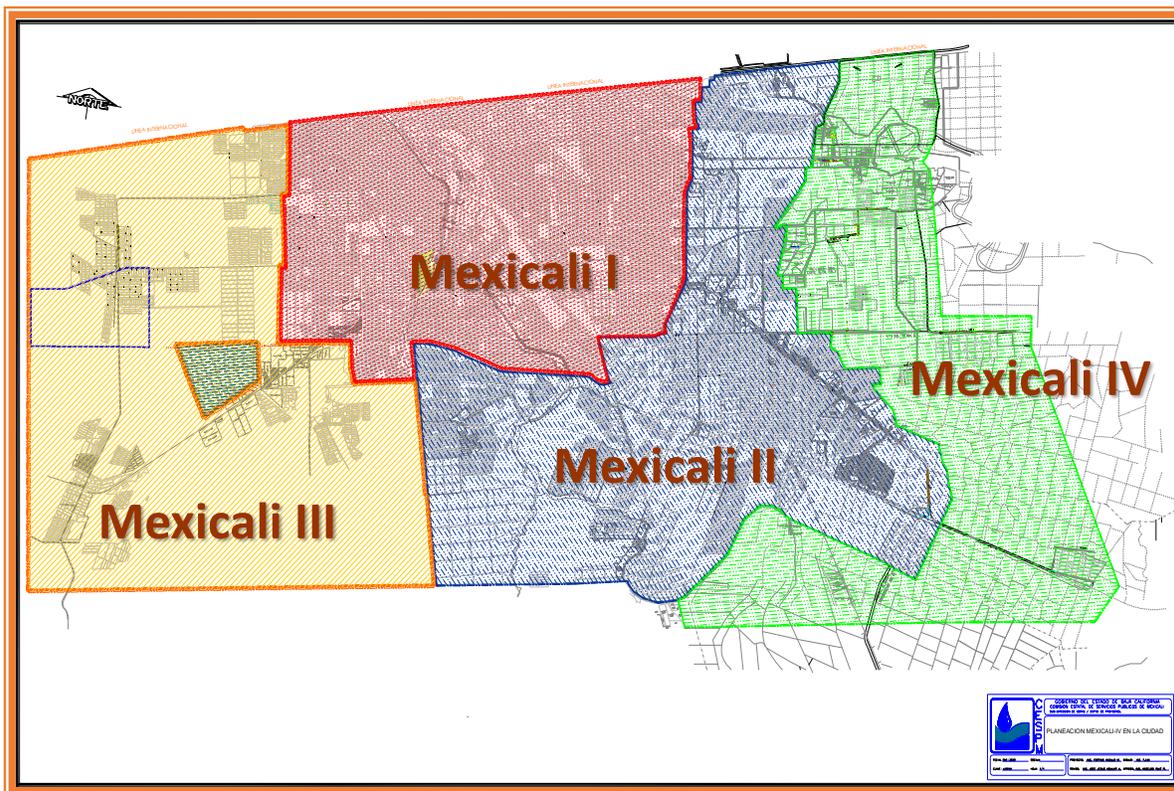


Figura 1. Plano del sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Mexicali.

Por lo anterior, es necesario elaborar el análisis de alternativas de distintos tipos de tratamiento considerando principalmente el sistema de tratamiento, la inversión, costo energético, impacto ambiental, impacto social, entre otros factores.

Las condicionantes para el diseño conceptual además de proyectar la capacidad instalada de tratamiento son:

- Caracterización del agua cruda

- Cumplimiento de todos los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 en todo el año a la salida de la planta y/o la NOM-003-SEMARNAT, para reúso
- Aprovechar la infraestructura existente en la PTAR Las Arenitas
- Diseño modular para crecimiento futuro
- Optimización del pretratamiento y tratamiento primario en su caso
- Generación, tratamiento y disposición de lodos para cogeneración de energía

### 3. Antecedentes

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Las Arenitas" inició su operación en marzo de 2007, el predio donde está ubicada la planta tiene una superficie de 605 hectáreas (figura 2). Está localizado en el km 21 en la carretera Mexicali - San Felipe.



Figura 2. Vista satelital del predio denominado "Las Arenitas".

La planta de tratamiento Las Arenitas, que da servicio al 45% del agua residual generada en la zona urbana, tiene una capacidad media de diseño de 840 L/s, sin embargo, durante todo el 2016 el gasto promedio de operación fue de 908 L/s, superando la capacidad de diseño. Ver tabla 1.

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
853	849	846	877	893	931	933	951	966	952	924	917

Tabla 1. Gastos promedio 2016 en litros por segundo.

El diseño original de la planta Las Arenitas consta de cuatro módulos de tratamiento en paralelo y cada módulo se integra con cuatro lagunas en serie; una laguna aireada de mezcla parcial, una laguna de sedimentación, una laguna primaria facultativa y una laguna secundaria o de maduración (ver diagrama de flujo, figura 3).

También cuenta con instalaciones para desinfección del efluente con gas cloro. A continuación, se muestra el perfil hidráulico del sistema de tratamiento de la PTAR Las Arenitas, (figura 4).

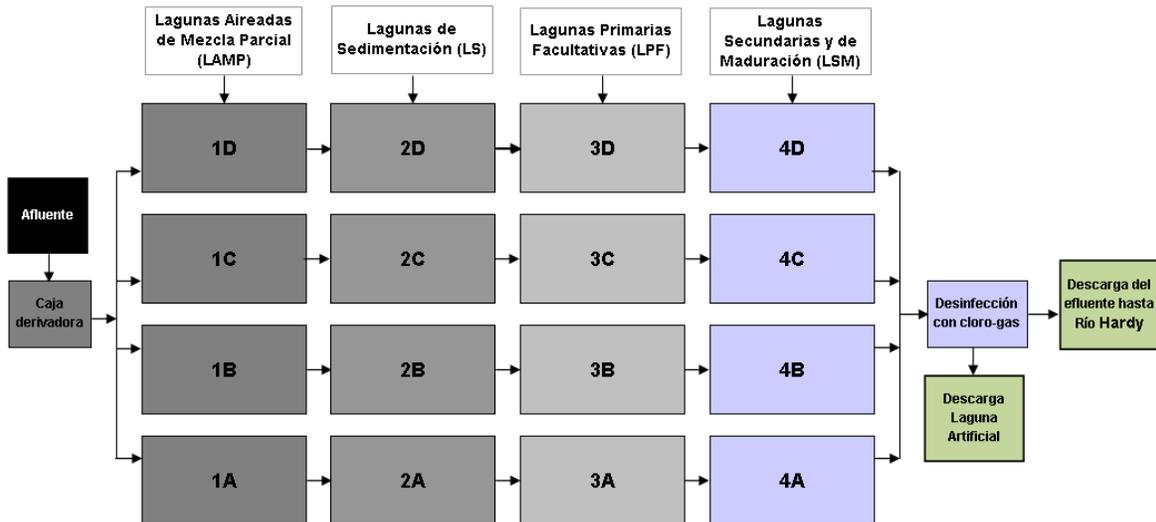


Figura 3. Diagrama de flujo de PTAR "Las Arenitas".

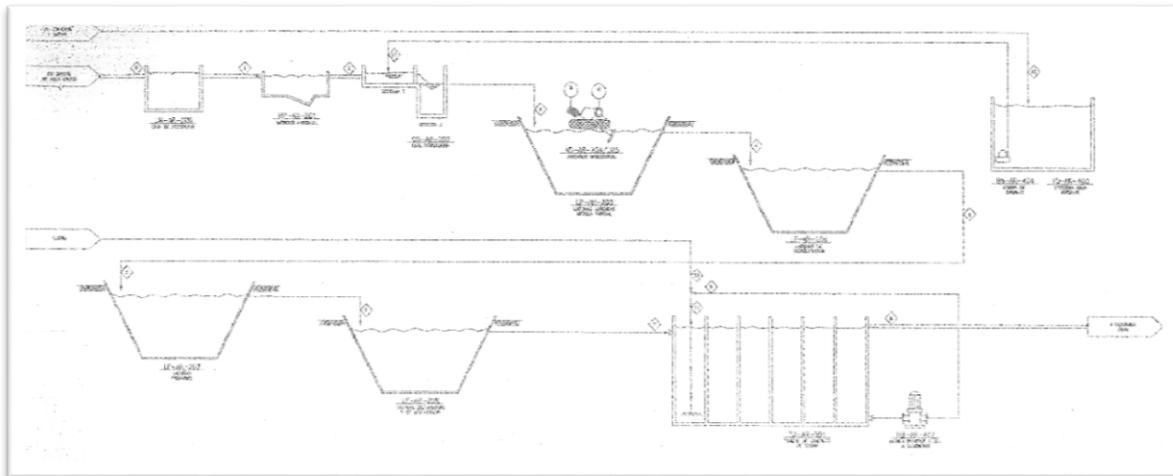


Figura 4. Perfil hidráulico de la PTAR "Las Arenitas".

Desde su inicio la PTAR por sí misma no fue capaz de dar cumplimiento a todos los parámetros de calidad de la NOM-001-SEMARNAT-1996 debido a errores en el proyecto y bases de diseño, sin embargo, gracias a la creación de una laguna artificial, denominada "Humedal", se cumple en su mayoría con los parámetros de la NOM mencionada.

El plano de las curvas de nivel del predio de Las Arenitas se muestra a continuación, (ver la figura 5).



Figura 5. Plano con las curvas de nivel de "Las Arenitas".

### 3.1 Gastos y calidad

Según las bases de diseño de Earth Tech para la PTAR "Las Arenitas", la capacidad de tratamiento promedio diario es de 840 L/s. (Ver la figura 6).

**Earth Tech México** MEAI BP 01. Bases de diseño.

Dirección Diseño y Construcción **FPDI 02-01**

---

**Aspectos técnicos.**

**1. CONDICIONES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE OPERACIÓN.**

a) Capacidad de la planta:

	CAUDALES DE DISEÑO.
Capacidad de tratamiento promedio diario Planta Arenitas. (m <sup>3</sup> /h = LPS)	3,024 = 840
Capacidad de tratamiento máxima Planta Arenitas. (m <sup>3</sup> /h = LPS)	4,536 = 1,260

b) Capacidad instalada de la planta: 4,536 m<sup>3</sup>/hr (1,260 LPS) de agua residual bajo condiciones máximas de operación, las cuales se consideran intermitentes y de una duración tal que el flujo promedio diario no excederá el valor de 840 LPS.

c) Horas de operación anuales: 8,760 horas.

**2. TIPO DE PROCESO.**

Batch      • Continuo      Batch – Continuo      Otro



E A R T H T E C H

A tyco INTERNATIONAL LTD. COMPANY

[3] 10/15/04 Pagina 4-15

Figura 6. Gasto de diseño y condiciones generales de operación.

Como se aprecia en la siguiente curva a partir del 2014 la capacidad hidráulica de diseño de la planta ha sido rebasada, (ver la figura 7).

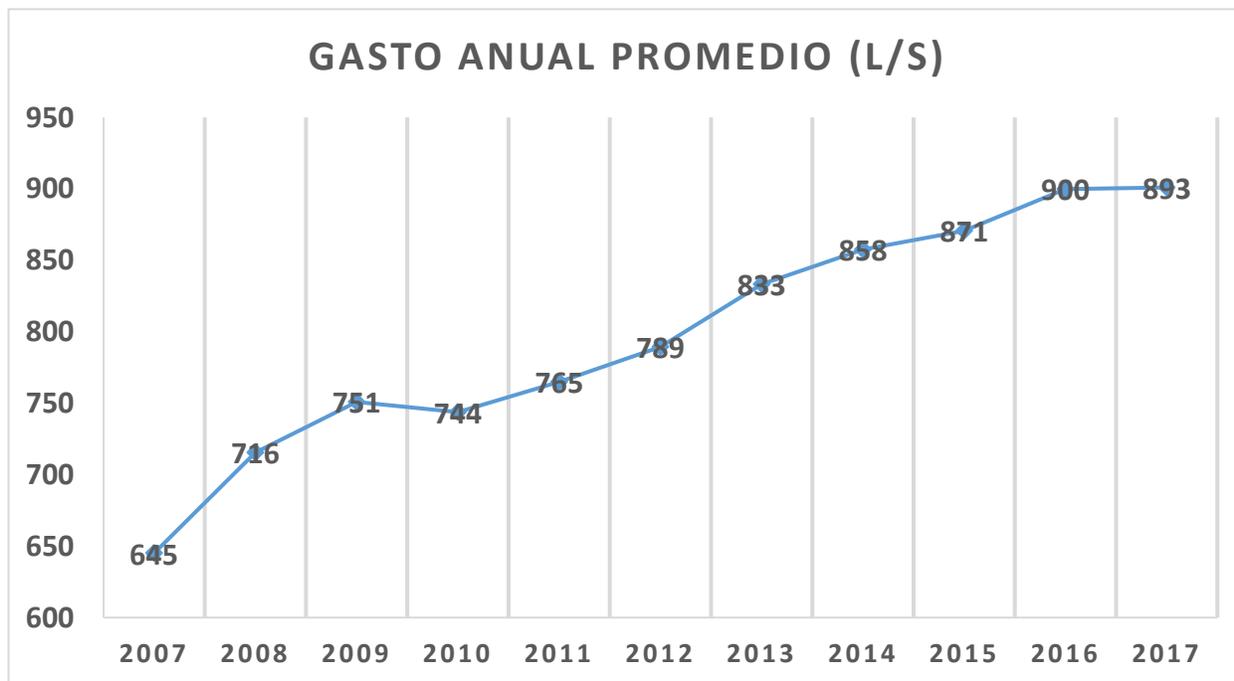


Figura 7. Gasto anual promedio 2007-2017.

A continuación, se muestra la tabla con los gastos promedios mensuales desde que la planta inició operación en marzo 2007. Se indican en rojo los gastos promedio mensuales que superan la capacidad de tratamiento de 840 L/s.

MES/AÑO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	-	660	707	760	753	764	769	819	806	853	908
Febrero	-	591	731	756	756	772	771	825	825	849	893
Marzo	541	562	722	734	735	806	781	835	842	846	890
Abril	597	689	711	643	714	774	791	831	835	877	879
Mayo	605	734	750	709	730	754	811	849	861	893	
Junio	619	746	769	750	759	751	839	872	889	931	
Julio	580	753	784	759	796	759	876	885	891	933	
Agosto	675	764	777	759	794	837	882	917	917	951	
Septiembre	708	806	786	785	801	851	891	887	936	966	
Octubre	713	772	769	807	800	823	877	883	918	952	
Noviembre	723	759	763	688	764	795	873	854	880	924	
Diciembre	690	751	743	773	777	785	841	834	848	917	
Promedio	645	716	751	744	765	789	833	858	871	908	893

Tabla 2. Gastos promedio mensuales 2007-2016.

Además, ha sido rebasada la capacidad hidráulica de conducción de la descarga al cuerpo receptor -tubo de descarga de 36 pulgadas de diámetro con una longitud de 9.5 kilómetros que descarga al dren "Dos Tubos"- (ver figuras 8 y 9).



Figura 8. Pozo 21 de la descarga del efluente.

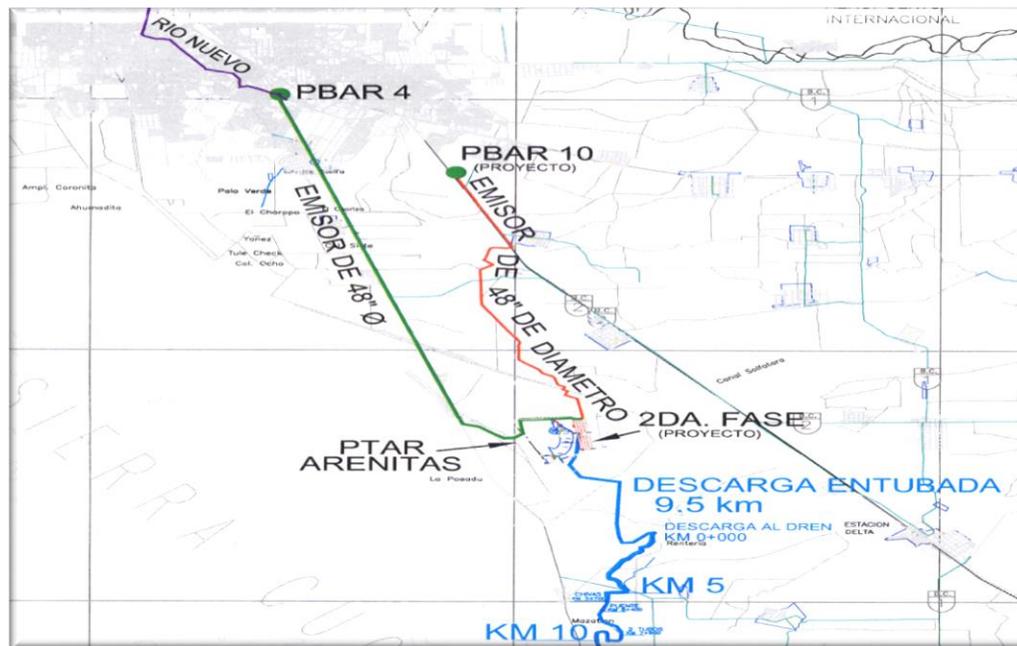


Figura 9. Plano de emisores y descarga de PTAR Las Arenitas.

La capacidad de tratamiento ha estado limitada desde el inicio de operación de la planta.

Según los resultados obtenidos en la Evaluación Integral de Desempeño Operativo de la PTAR "Las Arenitas" en octubre 2015, la potencia requerida por laguna es de 270 hp para atender la recomendación de una potencia unitaria mínima de 3 W/m<sup>3</sup> o bien 15 hp/MGD (Metcalf & Eddy, 1979).

PARÁMETRO	DISEÑO	REQUERIDO *
Potencia por laguna (Hp)	90	270
Potencia unitaria por laguna (W/m <sup>3</sup> ) o bien (15 hp/MGD)	1	3
TRH de la planta (días)	8.84	>20
Nitrógeno total en el afluente (mg/L)	20	50 *

Tabla 3. Principales parámetros de diseño y requeridos.

\* En las bases de diseño se consideró una concentración de nitrógeno total en el afluente de 20 mg/L cuando las concentraciones reales alcanzan los 50 mg/L en invierno. (Ver tabla 3). Cabe mencionar que no se consideró la DQO en las bases de diseño.

Earth Tech México

MEAI BP 01. Bases de diseño.

Dirección Diseño y Construcción

FPDI 02-01

#### 4. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA CRUDA Y TRATADA.

a) TABLA 1: CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE ENTRADA A LA PLANTA. (Sección 1.03 – B, del Volumen II, sección 01820 de las bases de licitación, y cuadro 5.1 del tomo "Diseño Conceptual" de las bases de licitación)

PARAMETRO	UNIDADES	Calidad de Entrada. (Expresada Como Promedio Mensual)			VALORES MAXIMOS PARA LOS QUE SE GARANTIZAN LOS VALORES DE CALIDAD DE AGUA PRODUCIDA. (Nota 1.2)
		Promedio	Máximo	Mínimo	
ORIGEN DE DESCARGA.		Agua Residual Municipal.	Agua Residual Municipal.	Agua Residual Municipal.	
DBO 5.	mg/l.	200	N.D.	N.D.	200
SST.	mg/l.	250	N.D.	N.D.	250
NH3-N.	mg/l.	15	N.D.	N.D.	15
N – TOTAL KJELDAHL.	mg/l.	20	N.D.	N.D.	20
GRASAS Y ACEITES.	mg/l.	40	N.D.	N.D.	40
TEMPERATURA.	oC	17.5 – 38	N.D.	N.D.	17.5 – 38
SULFATOS.	mg/l.	500	N.D.	N.D.	500
COL. TOTALES.	NMP/100 ml.	8.9 * 10 <sup>8</sup>	N.D.	N.D.	8.9 * 10 <sup>8</sup>
COL. FECALES.	NMP/100 ml.	8.9 * 10 <sup>7</sup>	N.D.	N.D.	8.9 * 10 <sup>7</sup>
pH		7.5	N.D.	N.D.	7.5
FÓSFORO TOTAL.	mg/l.	5	N.D.	N.D.	5
DQO.	mg/l.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Metales Pesados	Mg/l.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

Figura 10. Características del agua residual cruda según las bases de diseño de Earth Tech.

Ya que la empresa constructora de la PTAR "Las Arenitas" señaló que la calidad en el efluente sería cumplida si y solo si la calidad de entrada del agua residual no sobrepasara los valores señalados en la tabla anterior (ver figura 10), la compañía no se responsabilizó de los errores en la caracterización del agua residual en bases de diseño. (Ver figura 11).

## Earth Tech México

MEAI BP 01. Bases de diseño.

Dirección Diseño y Construcción

**FPDI 02-01**

### Notas:

- 1.1) N.D. = No Disponible.
- 1.2) La calidad de agua tratada para los diferentes parámetros señalados en la tabla de esta página (Tabla 2) será cumplida si y sólo si la calidad del agua residual no sobrepasa los valores señalados en la tabla de la página anterior (Tabla 1)
- 1.3) Earth Tech México no será responsable de la calidad de agua tratada o de afectaciones a la planta o a terceros si la calidad del agua influente no cumple con todos los parámetros señalados en esta tabla (Tabla 1), o bien por parámetros en la calidad del agua influente no especificados en la misma. Así mismo, se considera que todos los parámetros no especificados en la Tabla 1 no rebasarán los valores promedio mensual requeridos por la norma NOM – 001 – ECOL – 1996.

Figura 11. Restricciones en el cumplimiento de la calidad del agua residual según las bases de diseño de Earth Tech.

Los parámetros de Coliformes fecales y Nitrógeno total fueron rebasados en distintas ocasiones en 2016. (Ver tabla 4).

MES	DQO		DBO5		SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		GRASAS Y ACEITES		COLIFORMES FECALES		NITRÓGENO TOTAL		FÓSFORO TOTAL	
	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
NOM-001-SEMARNAT-1996	-	-	-	(75 mg/L)	-	(75 mg/L)	-	(15 mg/L)	-	(1000 NMP/100 mL)	-	(40 mg/L)	-	(20 mg/L)
Enero	699	172	234	61	332	42	65	9	NA	1,996	NA	53	NA	5
Febrero	1,325	165	568	22	240	26	65	9	2.40E+07	164	NA	51	NA	6
Marzo	716	131	385	41	280	42	53	9	NA	192	NA	50	NA	6
Abril	594	192	223	17	252	54	76	9	NA	27	NA	47	NA	6
Mayo	587	175	289	46	190	72	52	9	NA	58	NA	30	NA	5
Junio	575	237	203	34	276	38	57	9	NA	912	48	38	NA	6
Julio	429	140	156	27	161	51	37	9	NA	64	45	31	NA	5
Agosto	466	154	154	26	162	73	41	9	NA	6	45	25	NA	4
Septiembre	339	188	197	42	203	66	39	9	NA	6,617	45	31	NA	5
Octubre	504	180	169	48	152	63	34	9	NA	575	41	36	NA	6
Noviembre	675	198	295	40	200	74	52	9	NA	16	43	37	NA	5
Diciembre	541	162	214	32	200	46	60	9	NA	14,909	NA	43	NA	5
PROMEDIO	621	174	257	36	221	54	52	9	2.40E+07	2,128	44	39	NA	6

Tabla 4. Reporte de los principales parámetros de calidad en el 2016.

### 3.2 Pago de derechos

A partir del 2014 se modificó sustancialmente la Ley Federal de Derechos en materia de aguas nacionales. Según el artículo 276, están obligados a pagar el derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales, las personas físicas o morales que descarguen en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como los que descarguen aguas residuales en los suelos o las infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o que puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos, en términos de lo dispuesto en esta Ley.

Ya que la PTAR "Las Arenitas" atiende a una población mayor a 10,000 habitantes y al descargar el efluente a un cuerpo receptor de propiedad nacional, por ley se realiza una declaración trimestral en el sistema Declaragua de la CONAGUA. La Ley Federal de Derechos contempla que al atender la planta a una población mayor a 50,000 habitantes, es necesario realizar en la descarga por lo menos dos análisis de calidad de muestra compuesta de todos los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996. Si el promedio ponderado en función del caudal de dos o más muestras compuestas en un mes del trimestre rebasa en por lo menos un parámetro de la norma el límite máximo permisible según el tipo de cuerpo receptor, se deberá de pagar derechos en el trimestre declarado multiplicando el volumen descargado en el trimestre por la cuota correspondiente al año fiscal en curso.

La aplicación de la cuota según el octavo transitorio de la Ley Federal de Derechos se realiza como está indicado en la siguiente tabla (Ver tabla 5):

Ejercicio fiscal	Porcentaje de aplicación de la cuota
2014	30%
2015	36%
2016	43%
2017	51%
2018	57%
2019	64%
2020	72%
2021	78%
2022	85%
2023	93%
2024	99%
<b>A partir del 2025</b>	<b>100%</b>

Tabla 5. Aplicación de la cuota del pago de derechos.

El pago de derechos declarado desde el 2014 se ha realizado por el incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total ocasionando el pago de derechos por \$14,524,845 entre 2014 y 2017 como se muestra en la siguiente tabla (Ver tabla 6):

PAGADO					
AÑO	TRIMESTRE	PORCENTAJE DE PAGO	VOLUMEN DESCARGADO	PAGADO	OBSERVACIONES
2014	1°	30%	6,313,419	\$ 1,461,075	Por incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
	2°	30%	6,405,833	\$ 1,573,735	Por incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2015	1°	36%	6,132,673	\$ 1,934,408	Por incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
	2°	36%	6,538,298	\$ 2,063,048	Por incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2016	1°	43%	6,543,016	\$ 1,570,482	Por incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
	2°	43%	6,764,045	\$ 1,918,430	Por incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
	4°	43%	7,233,878	\$ 1,933,982	Por incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2017	1°	51%	6,824,081	\$ 2,069,685	Por incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
<b>TOTAL</b>			<b>52,755,243</b>	<b>14,524,845</b>	

Tabla 6. Pago de derechos de 2014 a 2017.

#### 4. Consideraciones generales

##### Evaluación integral de desempeño operativo de la PTAR "Las Arenitas"

En octubre de 2015 el Grupo Evaluador de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (GEPTAR) y el M.I. Antonio Ramírez González del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, realizaron la evaluación integral de desempeño operativo de la PTAR "Las Arenitas". Como resultado de la evaluación, se llegó a la conclusión de que la PTAR desde su inicio de operación por sí misma no fue capaz de dar cumplimiento a todos los parámetros de calidad de la NOM-001-SEMARNAT-1996 debido a errores en el proyecto y en los cálculos de diseño, sin embargo, gracias a la creación fortuita de una laguna artificial, denominada "Humedal", se cumple en su mayoría con los parámetros de la NOM mencionada.

Los factores limitantes de desempeño encontrados en dicha evaluación son los siguientes:

1. La capacidad de diseño del gasto de entrada de 840 litros por segundo (L/s) ha sido rebasada. El gasto promedio del último año (oct. 2014-sep. 2015) fue de 864 L/s. En el mes de septiembre se presentó el gasto promedio máximo histórico de 936 L/s.
2. En cuanto a la calidad del agua residual cruda (afluente) apenas ha rebasado los parámetros de diseño en carga orgánica ( $DBO_5$ ) y sólidos suspendidos totales (SST), mientras que en el nitrógeno total (NT), existe una gran discrepancia siendo 20 mg/L de diseño por 50 mg/L en operación actual. Por otro lado, se tiene un alto contenido de sulfuros en el agua cruda, causantes de los malos olores (Tabla 7).

	<b><math>DBO_5</math> (mg/L)</b>	<b>SST (mg/L)</b>	<b>NT (mg/L)</b>
<b>Calidad de entrada de diseño</b>	200	250	20
<b>Calidad de entrada actual (oct. 2014-sep. 2015)</b>	<b>209</b>	246	<b>50</b>
<b>Calidad de entrada actual máxima</b>	356	367	<b>54</b>
<b>Calidad de entrada actual mínima</b>	115	167	<b>48</b>

Tabla 7. Calidad de entrada en PTAR "Las Arenitas" 2014-2015.

3. La potencia de aireación en las lagunas según las bases de diseño es de 90 hp por laguna, 180 hp menos de los 270 hp mínimos requeridos según los cálculos realizados, con la recomendación de 15 hp por cada millón de galones y el volumen de una laguna de 18 MG, del MOP-8. ( $15 \text{ hp/MG} \times 18 \text{ MG} = 270 \text{ hp}$  por laguna aireada).
4. El tiempo de retención hidráulico (TRH) de la planta en su conjunto es de 8.84 días, muy por debajo del TRH recomendado por la literatura para lagunas aireadas más aún en el esquema propuesto en combinación con facultativas y de maduración, con este sistema lagunar se esperaría un tiempo de retención de al menos 20 días.
5. De los 28 equipos de aireación, 17 se encuentran fuera de operación por mantenimiento correctivo. Con 11 equipos disponibles (39% de disponibilidad), se ocasionan condiciones anaerobias en las lagunas aireadas, sedimentando grandes cantidades de sólidos que ya se observan en las orillas (figura 12), disminuyendo el TRH y la eficiencia de las lagunas. Debido a la calidad del agua cruda con alto contenido de sulfuros y en condiciones de septicidad y la escasa aireación actual, se genera metano y sulfuro de hidrógeno principal responsable de los malos olores, además se crea una atmósfera agresiva que daña los equipos de aireación, centros de control de motores (CCM), cableado y aires acondicionados.



Figura 12. Sólidos en lagunas aireadas en 2015.

Las actividades de mejora del desempeño, es decir, las recomendaciones planteadas como resultado de la evaluación son las siguientes:

1. La planta según el Manual de Evaluación es del tipo 3, es decir, las instalaciones son inadecuadas. Se necesitan modificaciones mayores o una rehabilitación mayor, para cumplir con los límites máximos permisibles en la calidad del efluente.
2. Los parámetros de diseño de esta PTAR, han sido rebasados, tanto en el gasto como en la carga orgánica, requiriéndose una ampliación que considere las proyecciones futuras, con base en las condiciones actuales.
3. En el proyecto de reingeniería para la rehabilitación y ampliación de la PTAR se deben considerar diferentes alternativas, a fin de decidir el tipo de tratamiento. Además, es necesario que se realice la remoción de nitrógeno para entrar en norma.
4. Se recomienda replantear la administración del mantenimiento (personal de mantenimiento de planta, frecuencia de mantenimiento óptima, stock de piezas y refacciones *in situ* y capacitación) de la planta y principalmente para los equipos de aireación y así garantizar los requerimientos de oxígeno en el proceso actual y proteger la inversión de los equipos que se instalen en la rehabilitación y ampliación de la PTAR "Las Arenitas".

### **Propuesta de modificación de la NOM**

Existe una propuesta de modificación de la NOM-001-SEMARNAT-1996 en la cual se reducen los parámetros de calidad de 20 a sólo 7 con límites máximos permisibles más estrictos (ver figura 14). De llevarse a cabo la modificación de la norma, supone un mayor reto en la ingeniería del proyecto de ampliación y mejoramiento de la PTAR "Las Arenitas" para dar cumplimiento a la calidad en la descarga y exentar el pago de derechos.

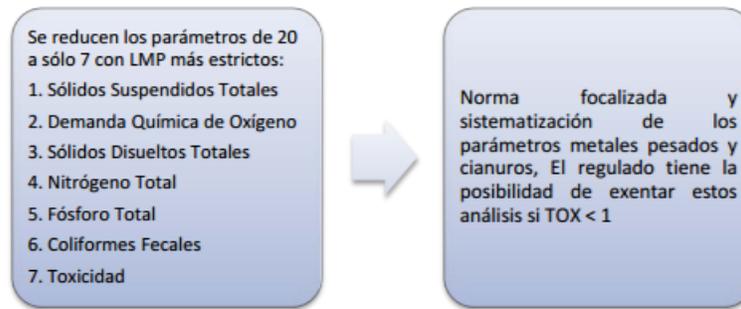


Figura 13. Propuesta de modificación de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

### **Población y gasto de diseño al 2037**

De acuerdo a la tasa anual de crecimiento poblacional de la ciudad de Mexicali según el Consejo Nacional de Población (CONAPO) es del 2.3%, se determinó un gasto de aportación de los sistemas Mexicali II y IV para el 2037 de 1,463 L/s (ver tabla 8).

Para efecto de los cálculos para el análisis del diseño conceptual se consideró un gasto de 1,500 L/s para los sistemas Mexicali II y IV. (Ver figura 14).

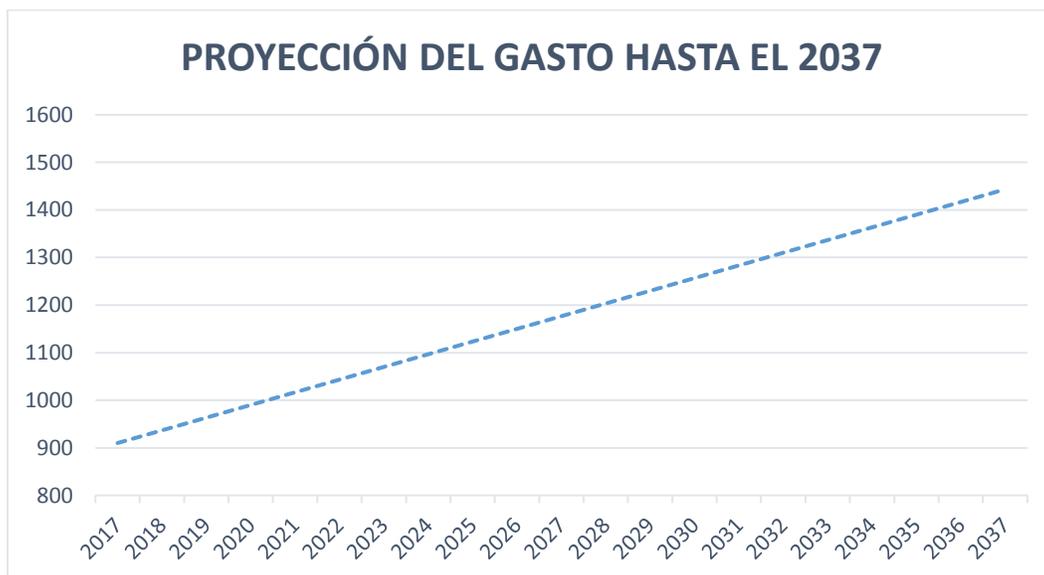


Figura 14. Curva de proyección del gasto de aportación de los sistemas Mexicali II y IV 2017 al 2037.

AÑO	GASTO (L/s)
2017	929
2018	950
2019	972
2020	994
2021	1017
2022	1040
2023	1064
2024	1089
2025	1114
2026	1139
2027	1166
2028	1192
2029	1220
2030	1248
2031	1277
2032	1306
2033	1336
2034	1367
2035	1398
2036	1430
2037	1463

Tabla 8. Proyección del gasto hasta el año 2037.

### Proyección del pago de derechos

Según una proyección conservadora del pago de derechos hasta el 2024, considerando las condiciones operativas actuales y un incumplimiento en dos trimestres en cada año, se pagarían 151 millones del 2017 al 2024.

AÑO	TRIMESTRE	PORCENTAJE DE PAGO	NETO A PAGAR	OBSERVACIONES
2017	1°, 2°	51%	\$11,419,540	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2018	1°, 2°	57%	\$13,290,383	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2019	1°, 2°	64%	\$15,473,033	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2020	1°, 2°	72%	\$17,967,490	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2021	1°, 2°	78%	\$19,838,333	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2022	1°, 2°	85%	\$22,020,983	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2023	1°, 2°	93%	\$24,515,440	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2024	1°, 2°	99%	\$26,386,282	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
<b>TOTAL</b>			<b>\$150,911,484</b>	

Tabla 9. Proyección conservadora del pago de derechos hasta el 2024.

Según una proyección pesimista del pago de derechos hasta el 2024, considerando las condiciones operativas actuales y un incumplimiento en **tres trimestres** en cada año, se pagarían 226 millones del 2017 al 2024.

AÑO	TRIMESTRE	PORCENTAJE DE PAGO	NETO A PAGAR	OBSERVACIONES
2017	1°, 2°, 3°	51%	\$17,129,310	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2018	1°, 2°, 3°	57%	\$19,935,574	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2019	1°, 2°, 3°	64%	\$23,209,549	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2020	1°, 2°, 3°	72%	\$26,951,235	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2021	1°, 2°, 3°	78%	\$29,757,499	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2022	1°, 2°, 3°	85%	\$33,031,474	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2023	1°, 2°, 3°	93%	\$36,773,159	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
2024	1°, 2°, 3°	99%	\$39,579,424	Por posible incumplimiento en el parámetro de Nitrógeno Total
<b>TOTAL</b>			<b>\$226,367,223</b>	

Tabla 10. Proyección pesimista del pago de derechos hasta el 2024.

Dado que se requiere el mejoramiento de las condiciones actuales y el cumplimiento con los requerimientos legales, es necesario que las condiciones para el diseño conceptual cumplan como mínimo con lo siguiente:

- Caracterización del agua cruda
- Cumplimiento de todos los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 en todo el año a la salida de la planta y/o la NOM-003-SEMARNAT, para reúso
- Aprovechar la infraestructura existente en la PTAR Las Arenitas
- Diseño modular para crecimiento futuro
- Optimización del pretratamiento y tratamiento primario en su caso
- Generación, tratamiento y disposición de lodos y cogeneración de energía

## **5 Esquemas generales del manejo del agua residual en Mexicali II y IV**

El sistema de alcantarillado y saneamiento de la ciudad de Mexicali se divide en 4 zonas, las cuales son: Mexicali I, Mexicali II, Mexicali III y Mexicali IV. (Ver figura 15).

El sistema de saneamiento Mexicali II, consta de una infraestructura que se encuentra distribuida en la parte noreste y sur de la ciudad, el transporte del agua residual generada en esa zona se conduce por una red de colectores y emisores los cuales se ubican en dirección de norte a sur, teniendo como punto final la Planta de Bombeo de Aguas Residuales No. 4. El agua residual es bombeada por un emisor paralelo a la carretera federal número 5 (carretera Mexicali a San Felipe), teniendo el emisor una longitud de aproximadamente 26.825 km y terminando su descarga en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Las Arenitas".

El sistema de saneamiento Mexicali IV, consta de una infraestructura que se encuentra distribuida en la parte noreste, este y sur de la ciudad, el transporte del agua residual generada en esa zona se conduce por una red de colectores y emisores los cuales se ubican en dirección de norte a sur, teniendo como punto final la Planta de Bombeo de Aguas Residuales No. 10. El agua residual es bombeada por un emisor paralelo a la carretera estatal número 2 (carretera al ejido Michoacán de Ocampo), teniendo el emisor una longitud de aproximadamente 18.5 km y terminando su descarga en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Las Arenitas". Cabe mencionar que hay una mayor incidencia de descargas industriales en el sistema Mexicali IV.

Existe una flexibilidad de operación entre los sistemas Mexicali II y IV, ya que es posible realizar desvíos de agua residual del sistema Mexicali II al IV y viceversa. Esta versatilidad operativa puede permitir que en caso de realizarse la construcción de una planta de tratamiento en la ciudad como parte del proyecto de ampliación de la capacidad de tratamiento de los sistemas Mexicali II y Mexicali IV, se puede disminuir el bombeo a la PTAR "Las Arenitas" permitiendo la optimización de costos energéticos y permitir la mejor combinación de gastos para cada planta.

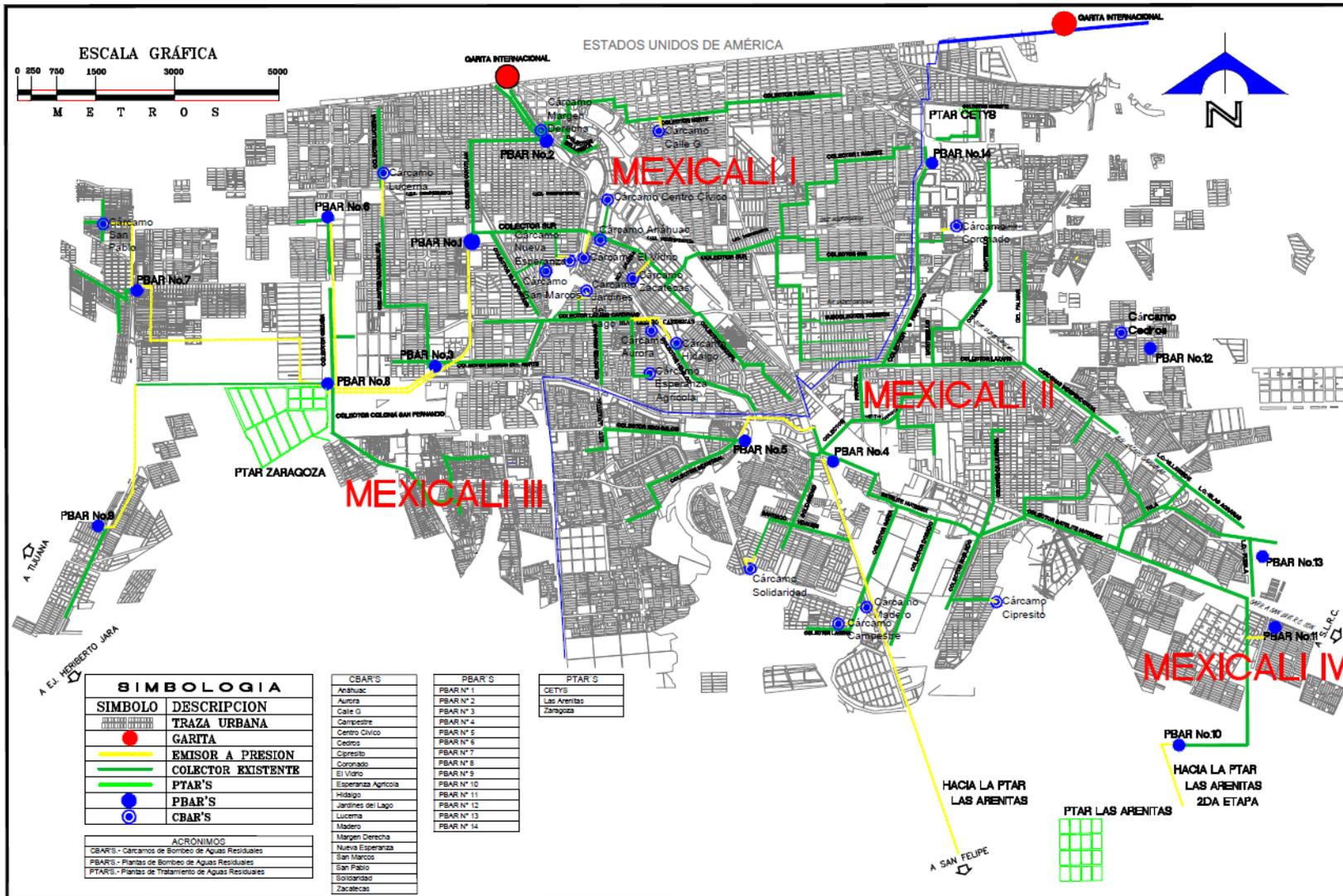


Figura 15. Plano del sistema de alcantarillado y saneamiento de la ciudad de Mexicali.

## 6 Datos básicos

Los datos básicos para iniciar el análisis de alternativas del diseño conceptual de los sistemas Mexicali II y IV son los siguientes (Ver tabla 11):

<b>Normatividad aplicable</b>	NOM-001-SEMARNAT-1996
<b>Caudal hasta el 2037 (L/s)</b>	1,500
<b>Parámetros críticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DQO (150 mg/L) (Estimado, no normado)</li> <li>• DBO (75 mg/L)</li> <li>• Nitrógeno (40 mg/L)</li> <li>• Fósforo (20 mg/L)</li> <li>• SST (75 mg/L)</li> <li>• Coliformes (1000 NMP/100mL)</li> </ul>
<b>Descarga de PTAR Las Arenitas</b>	Limitado a gasto máximo de 840 L/s (condición actual), mayor a 840 L/s requiere infraestructura adicional
<b>Costo obra ampliación de tubería de descarga de PTAR las arenitas de 840 a 1,500 L/s (\$)</b>	40,000,000
<b>Ecuación costo índice por infraestructura sistema lagunar (\$/L/s) (sin costo de terreno)</b>	$INV = [-184,430 + 47,677 \ln Q]*2$
<b>Ecuación costo índice por sistema lodos activados (\$/L/s) (incluye tratamiento de lodos)</b>	$INV = [1,032.4 Q^{0.7633}]*2$
<b>Ecuación costo índice por sistema filtros rociadores(\$/L/s)</b>	$INV = [319.6 Q^{0.964}]*2$
<b>Costo energético del bombeo de PBAR No. 4 a PTAR Las Arenitas (\$/m³)</b>	0.45
<b>Costo energético de la aireación requerida en PTAR Las Arenitas (\$/m³)</b>	0.22
<b>Concentración DBO de los sistemas Mexicali II y IV (mg/L) (promedio en agua cruda)</b>	257
<b>Concentración promedio de DBO a la salida del sistema lagunar de PTAR "Las Arenitas" (mg/L), que entrarían al tratamiento dual</b>	125
<b>Concentración N de los sistemas Mexicali II y IV (mg/L) (valor promedio más alto en un mes, en agua cruda)</b>	53
<b>Concentración P de los sistemas Mexicali II y IV (mg/L)</b>	6

Tabla 11. Datos básicos para el diseño conceptual.

Los costos índices por infraestructura sistema lagunar (lagunas aireadas) y por sistema de lodos activados fueron obtenidos del informe de costos índice realizado por la CONAGUA en función del gasto de diseño con un factor de actualización de 2, con ecuación de la curva de  $Inv = -184,430 + 47,677 \ln Q$  para lagunas aireadas,  $Inv = 1,032.4 Q^{0.7633}$  para lodos activados e  $Inv = 319.6 Q^{0.964}$  para filtros rociadores. Donde  $Inv$  es el costo de inversión expresado en miles de pesos corrientes de 2002,  $Q$  es el gasto de diseño expresado en litros por segundo de agua por tratar y  $\ln$  es el logaritmo natural.

- Índice por sistema lagunar de 420 L/s

$$Inv (420 L/s) = [-184,430 + 47,677 \ln (420)] * 2 = 207,102$$

- Índice por sistema lagunar de 500 L/s

$$Inv (500 L/s) = [-184,430 + 47,677 \ln (500)] * 2 = 223,728$$

- Índice por sistema lagunar de 660 L/s

$$Inv (660 L/s) = [-184,430 + 47,677 \ln (660)] * 2 = 250,201$$

- Índice por sistema lagunar de 840 L/s

$$Inv (840 L/s) = [-184,430 + 47,677 \ln (840)] * 2 = 273,197$$

- Índice por sistema lagunar de 1,000 L/s

$$Inv (1,000 L/s) = [-184,430 + 47,677 \ln (1000)] * 2 = 289,822$$

- Índice por sistema lodos activados de 420 L/s

$$Inv (420 L/s) = [1,032.4 (420)^{0.7633}] * 2 = 207,589$$

- Índice por sistema lodos activados de 660 L/s

$$Inv (660 L/s) = [1,032.4 (660)^{0.7633}] * 2 = 293,114$$

- Índice por sistema lodos activados de 840 L/s

$$Inv (840 L/s) = [1,032.4 (840)^{0.7633}] * 2 = 352,355$$

- Índice por sistema lodos activados de 1,080 L/s

$$Inv (1,080 L/s) = [1,032.4 (1080)^{0.7633}] * 2 = 426,865$$

- Índice por sistema lodos activados de 1,500 L/s

$$Inv (1,500 L/s) = [1,032.4 (1500)^{0.7633}] * 2 = 548,515$$

- Índice por sistema filtros rociadores de 660 L/s

$$Inv (660 L/s) = [319.6 (660)^{0.964}] * 2 = 333,947$$

La DBO de entrada de 257 mg/L es el promedio de agua cruda 2016. La DBO de 125 mg/L del sistema lagunar es el promedio de salida según análisis de calidad históricos.

## **7 Metodología y consideraciones para integrar las alternativas**

Con los antecedentes, información diversa, datos básicos y experiencia de los participantes, se iniciaron los trabajos para hacer planteamientos gruesos con lo que se debería considerar para plasmar las posibles alternativas, a esto lo llamamos alternativas generales. Se hizo un análisis y se fueron desechando las alternativas no viables por economía o no factibles técnicamente.

Con los resultados del primer análisis se plantearon diferentes escenarios con mayor viabilidad, dando lugar a las alternativas particulares, elaborando tablas de ventajas y desventajas de cada una de ellas, así como considerando otros factores como son: El costo de inversión, índice del costo energético, costo energético anual, volumen anual a tratar, cumplimiento de la normatividad aplicable, disponibilidad de terreno para la construcción de la planta, conocimiento del tipo de tecnología, requerimiento de personal calificado, dificultad en la operación y el manejo de lodos. Con ello se concluyó en tres tipos de solución, planteadas en el siguiente bloque de alternativas denominadas específicas.

Con el bloque final de las alternativas particulares evaluadas, se formó una serie de alternativas basadas en tres principios diferentes, bosquejando al final 7 alternativas específicas para tener en cuenta diferentes opciones de solución, al final se desearon 4 de ellas por cuestiones de costo de inversión, facilidad de tratamiento, generación energética y otros factores como: la ubicación de la planta; tratamiento 100% en "Las Arenitas" y tratamiento en "Las Arenitas" y en la ciudad; tipo de tratamiento; lodos activados convencional, filtros rociadores y aireación extendida; y capacidad de tratamiento.

Se consideró la inversión en la ampliación o construcción, costo energético anual tomando en cuenta el consumo de energía del bombeo y del sistema de aireación, impacto ambiental y social, carga orgánica diaria, consumo energético anual de los equipos de bombeo y de aireación, ahorro en la recuperación de energía de la generación de biogás de un tratamiento anaerobio de lodos y el porcentaje de recuperación-costo energético.

Con ello se llegó al final a tres alternativas de solución, las que se consideran muy atractivas por tener los mejores indicadores de los factores antes mencionados. Con ellas se realizó un análisis más detallado para concluir cuál de las tres alternativas presenta las mejores ventajas.

Es importante señalar que una de las premisas obligada para este trabajo fue la de ***usar en todo lo posible la infraestructura construida actualmente (Las Arenitas)***, de tal forma que no se consideró la alternativa de reconversión total del sistema actual de lagunas, en un sistema de lodos activados convencional o bien aireación extendida para 1,500 L/s., construido en su totalidad en el terreno de la PTAR "Las arenitas". Por consiguiente esto quiere decir que

si se presentara una alternativa, como la mencionada anteriormente y analizada su viabilidad técnica y económica, podría haberse considerado en el análisis final para la selección de la mejor alternativa.

## 8 Alternativas

### 8.1 Alternativas generales

Se hizo una primera aproximación de las alternativas viables que se pudieron visualizar por el grupo de trabajo, de una manera general tomando en cuenta la información disponible, los datos básicos y el conocimiento del sitio por el grupo local, así como por la experiencia de todos los participantes, se tomaron en cuenta las opciones que se consideraron viables y se desecharon algunas propuestas como la construcción de más de una planta en la ciudad, por cuestiones de costo y operativas.

También se acordó la premisa general de que se aprovecharían las instalaciones actuales de la Planta de Las Arenitas por ser un factor muy importante en el costo y por presentar condiciones generales aceptables para una rehabilitación. (Ver tabla 12)

ALTERNATIVAS GENERALES	UBICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES	USOS POTENCIALES DE AGUA RESIDUAL TRATADA
Ampliación y rehabilitación de Las Arenitas para 1,500 L/s	Predio actual.	Convenio existente para entrega del 30% en compensación ambiental. Disponibilidad del 70%.
Rehabilitación (840 L/s) de Las Arenitas y construcción de plantas en la zona urbana (660 L/s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las Arenitas (840 L/s)</li> <li>• predio Palaco (273 L/s)</li> <li>• PBAR No. 5 (250 L/s)</li> <li>• PBAR No. 10 (100 L/s)</li> </ul>	Convenio de entrega del 30% en compensación ambiental. Promoción de reúso en zona urbana 70% disponible.
Rehabilitación (420 L/s) de Las Arenitas y construcción de plantas en la zona urbana (1,080 L/s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las Arenitas (420 L/s)</li> <li>• predio Palaco (500 L/s)</li> <li>• PBAR No. 5 (250 L/s)</li> <li>• PBAR No. 10 (293 L/s)</li> </ul>	Convenio de entrega del 30% en compensación ambiental. Promoción de reúso en zona urbana 70% disponible.
Construcción de planta nueva sin utilizar la infraestructura actual en Las Arenitas (1,500 L/s)	Predio actual.	Convenio existente para entrega del 30% en compensación ambiental. Disponibilidad del 70%.

Tabla 12. Alternativas generales.

### 8.2 Alternativas particulares

Derivado del análisis de las alternativas generales, se plantearon alternativas particulares. El criterio de selección consistió en considerar la rehabilitación del sistema lagunar actual en la PTAR "Las Arenitas" y la ampliación de la capacidad mediante la construcción de una nueva

planta en algún lugar del predio de "Las Arenitas" en el supuesto de llevar la capacidad de tratamiento hasta 1,500 litros por segundo. A este tipo de alternativas se les denominó como tipo A.

Las alternativas tipo B consistieron en considerar la rehabilitación del sistema lagunar actual en la PTAR "Las Arenitas" y la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales nueva ubicada en la ciudad de Mexicali para una capacidad de tratamiento total entre las dos plantas de 1,500 litros por segundo.

Se consideró únicamente el predio "Palaco" en la ciudad, por presentar las mejores condiciones de tamaño y ubicación, así como por definir que es más conveniente tener una sola planta en la ciudad y no tres, por análisis de costos y por la parte operativa, principalmente el manejo de lodos en tres plantas y la aceptación social de tener este número de plantas en la ciudad.

Con el propósito de profundizar en el análisis de las alternativas particulares, se realizaron tablas con las ventajas y desventajas de cada alternativa.

### **A.1 Rehabilitación y ampliación de Las Arenitas (1,500 L/s)**

Rehabilitación de la planta actual (sistema lagunar 840 L/s) y ampliación de la capacidad de tratamiento con el mismo sistema de 660 L/s.

Esta alternativa se incluyó, aunque la rehabilitación de la PTAR Las Arenitas, únicamente con un sistema lagunar, para que cumpla con la remoción de nitrógeno, requeriría un crecimiento considerable y no se tiene la extensión de terreno y sus condiciones hidrológicas, geológicas y topográficas son desfavorables. Aun así, se analizó el costo con los índices encontrados, considerándose demasiado bajos (425,000 contra 660,000 \$/m<sup>3</sup>), dadas las condiciones del terreno en Las Arenitas, aspecto que habría que detallar en el futuro si se incluye esta alternativa.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terreno propio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere un tiempo de retención elevado para lograr la remoción de Nitrógeno Total por debajo de 40 mg/L</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto social bajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insuficiente capacidad de descarga del efluente</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se cuenta con infraestructura de bombeo y conducción (PBAR N° 4 y PBAR N° 10) con caudal de hasta 2,000 L/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitaciones topográficas</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escorrentías a través del terreno</li> <li>• Erosiones por factores climáticos</li> </ul>

- Alto costo de bombeo para alimentar la planta
- Alta cantidad de equipos electromecánicos con difícil mantenimiento
- Alta generación de gases de efecto invernadero

## A.2 Rehabilitación y ampliación de Las Arenitas (1,500 L/s)

Rehabilitación de la planta actual (sistema lagunar 840 L/s) y ampliación de la capacidad de tratamiento con otro sistema de 660 L/s.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidad operativa: operar nueva planta al máximo y el resto en el sistema lagunar para cumplimiento de Nitrógeno Total en el efluente</li> <li>• Terreno propio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere un tiempo de retención elevado para lograr la remoción de Nitrógeno Total por debajo de 40 mg/L en el sistema lagunar</li> <li>• Insuficiente capacidad de descarga del efluente</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto social bajo</li> <li>• Tratamiento y disposición de lodos en sistema nuevo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitaciones topográficas</li> <li>• Escorrentías a través del terreno</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es posible generar energía</li> <li>• Al tener un sistema que no es lagunar disminuye la emisión de gases de efecto invernadero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosiones por factores climáticos</li> <li>• Alto costo de bombeo para alimentar la planta</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oferta de ART con calidad NOM-001 para reúso con disponibilidad del 70% del volumen tratado</li> </ul>	

## A.3 Rehabilitación y ampliación de Las Arenitas (1,500 L/s)

Rehabilitación de la planta actual (sistema lagunar 420 L/s) y ampliación de la capacidad de tratamiento con otro sistema de 1,080 L/s.

Esta opción se desechó debido a que se consideró que la planta en la ciudad no debería ser de esta magnitud, ya que de todas formas se enviaría el agua a la descarga en el Río Hardy. Se tendrían que hacer las facilidades de tratamiento de lodos en la planta y eso generaría una problemática social con el manejo, y disposición, camiones pasando varias veces al día, olores, y otros factores.

### Ventajas

- Cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 en todo el año
- Flexibilidad operativa: operar nueva planta al máximo y el resto en el sistema lagunar para cumplimiento de Nitrógeno Total en el efluente
- Terreno propio
- Impacto social bajo
- Tratamiento y disposición de lodos en sistema nuevo
- Es posible generar energía
- Al tener un sistema que no es lagunar disminuye la emisión de gases de efecto invernadero
- Oferta de ART con calidad NOM-001 para reúso con disponibilidad del 70% del volumen tratado

### Desventajas

- Insuficiente capacidad de descarga del efluente
- Limitaciones topográficas
- Escorrentías a través del terreno
- Erosiones por factores climáticos
- Alto costo de bombeo para alimentar la planta

#### A.4 Construcción de planta nueva en Las Arenitas (1,500 L/s)

Aprovechamiento de la infraestructura lagunar actual para la construcción de un nuevo sistema de tratamiento con capacidad de hasta 1,500 L/s.

Esta alternativa se dejó pendiente para su análisis por falta de información del proceso y de los costos asociados, si más adelante se observa que cumple con todas las premisas consideradas y tiene las ventajas de otros sistemas, se puede considerar su inclusión en las alternativas finales, ese trabajo se haría fuera de este documento, por tanto, se desechó en la siguiente fase.

### Ventajas

- Terreno propio
- Impacto social bajo
- Se cuenta con infraestructura de bombeo y conducción (PBAR N° 4 y PBAR N° 10) con caudal de hasta 2,000 L/s
- Menores costos de construcción
- Aprovechamiento de la infraestructura existente
- Cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 en todo el año

### Desventajas

- Insuficiente capacidad de descarga del efluente
- Limitaciones topográficas
- Escorrentías a través del terreno
- Erosiones por factores climáticos
- Alto costo de bombeo para alimentar la planta

### **B.1 Adecuación de Las Arenitas (840 L/s) y construcción de plantas en la zona urbana (660 L/s)**

Rehabilitación de la planta actual (sistema lagunar 840 L/s) y ampliación de la capacidad de tratamiento en la ciudad con otros sistemas hasta de 660 L/s.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 en todo el año</li> <li>• Flexibilidad operativa: operar nueva planta al máximo y el resto en el sistema lagunar para cumplimiento de Nitrógeno Total en el efluente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitaciones topográficas</li> <li>• Escorrentías a través del terreno en Las Arenitas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terreno propio</li> <li>• Es posible generar energía</li> <li>• Al tener un sistema que no es lagunar disminuye la emisión de gases de efecto invernadero</li> <li>• Oferta de ART con calidad NOM-001 para reúso con disponibilidad del 70% del volumen tratado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosiones por factores climáticos en Las Arenitas</li> <li>• Impacto social en zona urbana</li> <li>• Tratamiento y manejo de lodos dentro de la ciudad</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suficiente capacidad de descarga del efluente</li> <li>• Disminución del costo de bombeo hacia Las Arenitas</li> </ul>	

### **B.2 Adecuación de Las Arenitas (420 L/s) y construcción de plantas en la zona urbana (1,080 L/s)**

Rehabilitación de la planta actual (sistema lagunar 420 L/s) y ampliación de la capacidad de tratamiento en la ciudad con otros sistemas hasta de 1,080 L/s.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 en todo el año</li> <li>• Flexibilidad operativa: operar nueva planta al máximo y el resto en el sistema lagunar para cumplimiento de Nitrógeno Total en el efluente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitaciones topográficas</li> <li>• Escorrentías a través del terreno en Las Arenitas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terreno propio</li> <li>• Es posible generar energía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosiones por factores climáticos en Las Arenitas</li> <li>• Impacto social en zona urbana</li> </ul>

- Al tener un sistema que no es lagunar disminuye la emisión de gases de efecto invernadero
- Oferta de ART con calidad NOM-001 para reúso con disponibilidad del 70% del volumen tratado
- Suficiente capacidad de descarga del efluente
- Disminución del costo de bombeo hacia Las Arenitas
- Tratamiento y manejo de lodos dentro de la ciudad
- Queda ociosa parte de la infraestructura de conducción y tratamiento

Para el cálculo del costo de inversión de la rehabilitación de la planta actual en las alternativas particulares A1, A2, A3, B1, B2 (ver tabla 13), se multiplicó el costo índice en función del gasto por un factor de 0.5 debido a que se está considerando el aprovechamiento de la infraestructura actual.

En las alternativas particulares A1, A2, A3 y A4 en las cuales se consideró el 100% del tratamiento en Las Arenitas se incluyó un costo de inversión de 40 millones para la ampliación de la conducción de la descarga.

A continuación, se detallan los cálculos del costo de inversión (ci) para todas las alternativas particulares considerando el costo índice por sistema de tratamiento en función del gasto calculados en los datos básicos.

$$A1_{\text{alternativas particulares}} = [(273,197 \cdot 0.5) + (250,201)] 1,000 + 40,000,000 = 426,799,500$$

$$A2_{\text{alternativas particulares}} = [(273,197 \cdot 0.5) + (293,114)] 1,000 + 40,000,000 = 469,712,500$$

$$A3_{\text{alternativas particulares}} = [(207,102 \cdot 0.5) + (426,865)] 1,000 + 40,000,000 = 570,416,000$$

$$A4_{\text{alternativas particulares}} = (548,515) 1,000 + 40,000,000 = 588,515,000$$

$$B1_{\text{alternativas particulares}} = [(273,197 \cdot 0.5) + (293,114)] 1,000 = 429,712,500$$

$$B2_{\text{alternativas particulares}} = [(207,102 \cdot 0.5) + (426,865)] 1,000 = 530,416,000$$

Finalmente, las alternativas particulares se compararon de acuerdo a la tabla 13 considerando el costo de inversión, índice del costo energético, costo energético anual, metros cúbicos anuales a tratar, cumplimiento a la normatividad aplicable, disponibilidad de terreno para la construcción de la planta, conocimiento del tipo de tecnología, requerimiento de personal calificado, dificultad en la operación y el manejo de lodos. Se eliminaron las alternativas A3 y A4 debido a los altos costos de inversión y a los altos costos energéticos.

LUGAR	ALTERNATIVAS PARTICULARES	Costo de inversión (\$)	Costo energético (\$/m <sup>3</sup> )	Metros cúbicos anuales	Costo energético anual	Cumplimiento con la NOM	Disponibilidad de terreno	Tipo de tecnología	Personal calificado	Dificultad de mantenimiento	Dificultad de operación	Manejo de lodos
<b>100% Tratamiento en Las Arenitas</b>	A.1 Descripción: Rehabilitación de la planta actual (sistema lagunar 840 L/s) y ampliación de la capacidad de tratamiento con sistema actual de 660 L/s.	426,799,500	0.67	47,304,000	31,693,680	Cumple	Si	Conocida	No	Alta	Baja	Baja
	A.2 Rehabilitación de la planta actual (sistema lagunar 840 L/s) y ampliación de la capacidad de tratamiento con otro sistema de 660 L/s.	469,712,500	0.90	47,304,000	42,516,835	Cumple	Si	Conocida/Nueva	Si	Alta/Media	Baja/Alta	Baja/Alta
	A.3 Rehabilitación de la planta actual (sistema lagunar 420 L/s) y ampliación de la capacidad de tratamiento con otro sistema de 1,080 L/s.	570,416,000	1.04	47,304,000	49,404,298	Cumple	Si	Conocida/Nueva	Si	Alta/Media	Baja/Alta	Baja/Alta
	A.4 Aprovechamiento de la infraestructura lagunar actual para la construcción de un nuevo sistema de tratamiento con capacidad de hasta 1,500 L/s.	588,515,000	1.64	47,304,000	77,578,560	Cumple	Si	Nueva	Si	Media	Alta	Alta
<b>Tratamiento en Las Arenitas y en la ciudad</b>	B.1 Rehabilitación de la planta actual (sistema lagunar 840 L/s) y ampliación de la capacidad de tratamiento en la ciudad con otros sistemas hasta de 660 L/s.	429,712,500	0.90	47,304,000	42,516,835	Cumple	Si	Conocida/Nueva	Si	Alta/Media	Baja/Alta	Baja/Alta
	B.2 Rehabilitación de la planta actual (sistema lagunar 420 L/s) y ampliación de la capacidad de tratamiento en la ciudad con otros sistemas hasta de 1,080 L/s.	530,416,000	1.04	47,304,000	49,404,298	Cumple	Si	Conocida/Nueva	Si	Alta/Media	Baja/Alta	Baja/Alta

Tabla 13. Análisis de alternativas particulares.

### **8.3 Alternativas específicas**

Una vez analizadas las alternativas particulares se procedió a clasificarlas en alternativas específicas tomando en cuenta la ubicación de la planta; tratamiento 100% en "Las Arenitas", y tratamiento en "Las Arenitas" y en la ciudad; tipo de tratamiento; lodos activados convencional, filtros rociadores y aireación extendida; costo de construcción y capacidad de tratamiento.

Se acordó en el grupo de trabajo, considerar sistema de tratamiento dual, esto es, aprovechar la infraestructura existente de PTAR Las Arenitas, tomando como base su eficiencia de tratamiento actual, rehabilitarla para evitar en lo posible la acumulación de sólidos y tener la eficiencia requerida en la remoción de nutrientes.

Es muy importante hacer notar que el tema de recuperación de energía es un factor a considerar, este factor depende mucho de la captación de lodos primarios, la generación de lodos activados sin mineralizar y la estabilización de los lodos mezclados primarios con secundarios para la obtención de energía en la digestión anaerobia, así como la búsqueda de un tratamiento centralizado de lodos en los terrenos de Las Arenitas.

Así se plantearon las nuevas alternativas denominadas específicas, incluyendo la parte correspondiente a otro tratamiento complementario al existente, para diversas opciones de procesos y con diferentes gastos, tanto en el terreno de Las Arenitas como considerando el terreno de Palaco. Esto se puede observar en la tabla 14, donde se muestra el análisis de las alternativas específicas, de este ejercicio resultaron siete alternativas a comparar.

Para el cálculo del costo de inversión de la rehabilitación de la planta actual en las alternativas específicas A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2 (ver tabla 14), se multiplicó el costo índice en función del gasto por un factor de 0.5 debido a que se está considerando el aprovechamiento de la infraestructura actual.

En las alternativas específicas A1, A2 y A3 se incluyó un costo de inversión de 40 millones para la ampliación de la conducción de la descarga, ampliación de la capacidad de los trenes actuales de 210 a 250 L/s y la construcción de dos trenes adicionales de 250 L/s cada uno.

En el caso de la construcción de sistemas adicionales en Las Arenitas el costo índice por sistema de tratamiento en función del gasto calculado se multiplicó por un factor 0.6 debido a la baja carga orgánica de entrada de 125 mg/L.

Como no se contó con costo índice para sistemas de lodos activados modalidad aireación extendida, el costo índice para sistemas de tratamiento de lodos activados se multiplicó por un factor de 1.15.

Los cálculos del costo de inversión (ci) para todas las alternativas específicas considerando el costo índice por sistema de tratamiento en función del gasto calculados en los datos básicos.

- A1 alternativas específicas =  $[(289,822 \cdot 0.5) + (293,114 \cdot 0.6) + (223,728)] 1,000 + 40,000,000 = 584,507,400$
- A2 alternativas específicas =  $[(289,822 \cdot 0.5) + (333,947 \cdot 0.6) + (223,728)] 1,000 + 40,000,000 = 609,007,200$
- A3 alternativas específicas =  $[(289,822 \cdot 0.5) + (293,114 \cdot 1.15 \cdot 0.6) + (223,728)] 1,000 + 40,000,000 = 610,887,660$
- B1 alternativas específicas =  $[(273,197 \cdot 0.5) + (293,114) + (352,355 \cdot 0.6)] 1,000 = 641,125,500$
- B2 alternativas específicas =  $[(273,197 \cdot 0.5) + (293,114) + (352,355 \cdot 1.15 \cdot 0.6)] 1,000 = 672,837,450$
- C1 alternativas específicas =  $[(207,102 \cdot 0.5) + (426,865) + (207,589 \cdot 0.6)] 1,000 = 654,969,400$
- C2 alternativas específicas =  $[(207,102 \cdot 0.5) + (426,865) + (207,589 \cdot 1.15 \cdot 0.6)] 1,000 = 673,652,410$

LUGAR	ALTERNATIVA	A1 Tratamiento dual LAC		A2 Tratamiento dual FR		A3 tratamiento dual LAE	
<b>100% Tratamiento en Las Arenitas Con sistema dual</b>	A. Descripción: Reingeniería de la planta actual y ampliación de la capacidad de tratamiento hasta 1,500 L/s.	Pretratamiento y tratamiento primario		Pretratamiento y tratamiento primario		Pretratamiento y tratamiento primario	
		Estructura de control de distribución de afluentes a LAMP's		Estructura de control de distribución de afluentes a LAMP's		Estructura de control de distribución de afluentes a LAMP's	
		Lagunas con trenes adicionales		Lagunas con trenes adicionales		Lagunas con trenes adicionales	
		Lodos activados convencional		Filtros rociadores		Aireación extendida	
	<b>Costo de construcción</b>	\$584,507,400		\$609,007,200		\$610,887,660	
<b>Tratamiento en Las Arenitas y en la ciudad</b>	B. Reingeniería de la planta actual y construcción de sistema de tratamiento en la ciudad, para una capacidad total de 1,500 L/s.	<b>B1</b>		<b>B2</b>			
		840 L/s Arenitas	660 L/s Ciudad	840 L/s Arenitas	660 L/s Ciudad		
		Pretratamiento	Pretratamiento	Pretratamiento	Pretratamiento		
		Estructura de control de distribución de afluentes a LAMP's		Estructura de control de distribución de afluentes a LAMP's			
		Lodos activados convencional	Lodos activados convencional	Aireación extendida	Lodos activados convencional		
	<b>Costo de construcción</b>	\$641,125,500		\$672,837,450			
	C. Reingeniería de la planta actual y construcción de más de una planta de tratamiento en la ciudad, para una capacidad total de 1,500 L/s.	<b>C1</b>		<b>C2</b>			
		420 L/s Arenitas	1,080 L/s Ciudad	420 L/s Arenitas	1,080 L/s Ciudad		
		Lodos activados convencional	Lodos activados convencional	Aireación extendida	Lodos activados convencional		
		<b>Costo de construcción</b>	\$654,969,400		\$673,652,410		

Tabla 14. Análisis de alternativas específicas.

Para la selección de las tres mejores alternativas específicas de las siete planteadas, se integró la información en una tabla comparativa (tabla 15) en la que se consideró la inversión en la ampliación o construcción, costo energético anual tomando en cuenta el consumo de energía del bombeo y del sistema de aireación, impacto ambiental y social, carga orgánica diaria, consumo energético anual de los equipos de bombeo y de aireación, ahorro en la recuperación de energía de la generación de biogás de un tratamiento anaerobio de lodos y el porcentaje de recuperación-costo energético.

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	INVERSIÓN (\$)	COSTO ENERGÉTICO ANUAL (\$)	IMPACTO AMBIENTAL	IMPACTO SOCIAL	CARGA ORGÁNICA (kgDBO/día)	MWh /año	AHORRO RECUPERACIÓN DE ENERGÍA (\$)	PORCENTAJE (RECUPERACIÓN /COSTO ENERGÉTICO)
A1	584,507,400	39,820,507	Bajo	Bajo	16,200	4,845	9,477,420	24%
A2	609,007,200	32,639,760	Bajo	Bajo	16,200	2,785	5,446,795	17%
A3	610,887,660	69,655,140	Bajo	Bajo	16,200	2,785	5,446,795	8%
B1	641,125,500	55,894,406	Medio	Medio	23,328	6,977	13,647,485	24%
B2	672,837,450	63,775,253	Medio	Medio	23,328	4,010	7,843,385	12%
C1	654,969,400	56,093,083	Alto	Alto	27,864	8,334	16,301,163	29%
C2	673,652,410	60,033,506	Alto	Alto	27,864	4,790	9,368,488	16%

Tabla 15. Comparación de alternativas específicas.

Finalmente se eligieron las 3 mejores alternativas específicas en base al bajo costo energético anual, bajo costo de inversión y un alto porcentaje de recuperación. Las 3 alternativas elegidas se pueden ver en la tabla 16.

ALTERNATIVAS FINALES	INVERSIÓN (\$)	COSTO ENERGÉTICO ANUAL (\$)	IMPACTO AMBIENTAL	IMPACTO SOCIAL	CARGA ORGÁNICA (kgDBO/día)	MWh /año	AHORRO RECUPERACIÓN DE ENERGÍA (\$)	PORCENTAJE (RECUPERACIÓN/ COSTO ENERGÉTICO)
A1	584,507,400	39,820,507	Bajo	Bajo	16,200	4,845	9,477,420	24%
A2	609,007,200	32,639,760	Bajo	Bajo	16,200	2,785	5,446,795	17%
B1	641,125,500	55,894,406	Medio	Medio	23,328	6,977	13,647,485	24%

Tabla 16. Alternativas específicas finales.

## 9 Predimensionamiento de las alternativas seleccionadas

Para el predimensionamiento del diseño conceptual se consideró lo siguiente:

- Gasto total de la ampliación 1,500 litros por segundo para todos los casos

- Se considera el tiempo de retención típico para reactores según su modalidad y cargas orgánicas domésticas medias.
- Se utilizó la carga hidráulica volumétrica recomendada en predimensionamiento de filtros rociadores con remoción de nitrógeno.
- Cargas superficiales recomendadas en la literatura para sedimentación primaria y secundaria 4a. Ed. Metcalf pag. 398
- Reactores de lodos activados 20% más largos para lograr la remoción de nitrógeno (aproximación gruesa).

### **Alternativa A1. Reingeniería de la planta actual y ampliación de la capacidad de tratamiento hasta 1,500 L/s mediante una planta de lodos activados convencional.**

#### Cálculo de sedimentadores primarios

Número de sedimentadores primarios precediendo a lodos activados convencional	3	
Capacidad de diseño de la planta	1,500	L/s
Gasto para un sedimentador	500	L/s
	43,200	m <sup>3</sup> /día
Carga superficial (Cs) en sedimentadores primarios precediendo a lodos activados convencional	40	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x día
Área	1080	m <sup>2</sup>
Diámetro de cada sedimentador	37	m

#### Cálculo de reactores para lodos activados convencional

Elegir el número de reactores para lodos activados convencional	3	
Capacidad de diseño de la planta	500	L/s
	43,200	m <sup>3</sup> /día
Tiempo de retención	5	horas
	9,000	m <sup>3</sup>
Profundidad del reactor	5	m
Área	1,800	m <sup>2</sup>
Relación 1 a:	3	
Ancho	25	m
Largo	75	m
20% más largo para lograr la remoción de nitrógeno	90	m

#### Cálculo de sedimentadores secundarios para lodos activados convencional

Número de sedimentadores secundarios de lodos activados convencional	4	
Capacidad de diseño de la planta	1,500	L/s
Gasto para un sedimentador	375	L/s
	32,400	m <sup>3</sup> /día
Carga superficial (Cs) en sedimentadores primarios para lodos activados convencional	24	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x día
Área	1350	m <sup>2</sup>
Diámetro	42	m

En la siguiente figura se muestra el esquemático de la alternativa A1.



Figura 16. Alternativa A1. Reingeniería de la planta actual y ampliación de la capacidad de tratamiento hasta 1,500 L/s mediante una planta de lodos activados convencional.

## Alternativa A2. Reingeniería de la planta actual y ampliación de la capacidad de tratamiento hasta 1,500 L/s mediante una planta con filtros percoladores.

### Cálculo de sedimentadores primarios

Número de sedimentadores primarios precediendo a lodos activados convencional	3	
Capacidad de diseño de la planta	1,500	L/s
Gasto para un sedimentador	500	L/s
	43,200	m <sup>3</sup> /día
Carga superficial (Cs) en sedimentadores primarios precediendo a lodos activados convencional	40	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x día
Área	1080	m <sup>2</sup>
Diámetro	37	m

### Cálculo de filtros percoladores

Elegir el número de filtros percoladores	5	
Carga orgánica volumétrica	0.19	kg/DBOm <sup>3</sup>
Capacidad de diseño de la planta	1,500	L/s
	85,263	m <sup>3</sup> /día
Carga DBO a la salida del sistema lagunar de PTAR "Las Arenitas"	125	mg/L
Carga orgánica	16,200	kg/día
Factor (0.19) para que el filtro remueva Nitrogeno	85,263	m <sup>3</sup>
Profundidad del medio filtrante	8	m
Área	10658	m <sup>2</sup>
Por cada uno de los filtros percoladores (5)	2131	m <sup>2</sup>
Diámetro por filtro percolador	52	m

### Cálculo de sedimentadores secundarios para filtros percoladores

Número de sedimentadores secundarios para filtros percoladores	4	
Capacidad de diseño de la planta	1,500	L/s
Gasto para un sedimentador	375	L/s
	32,400	m <sup>3</sup> /día
Carga superficial (Cs) en sedimentadores primarios para lodos activados convencional	20	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x día
Área	1650	m <sup>2</sup>
Diámetro	46	m

A continuación, se muestra en la figura 17 el esquemático de la alternativa A2.

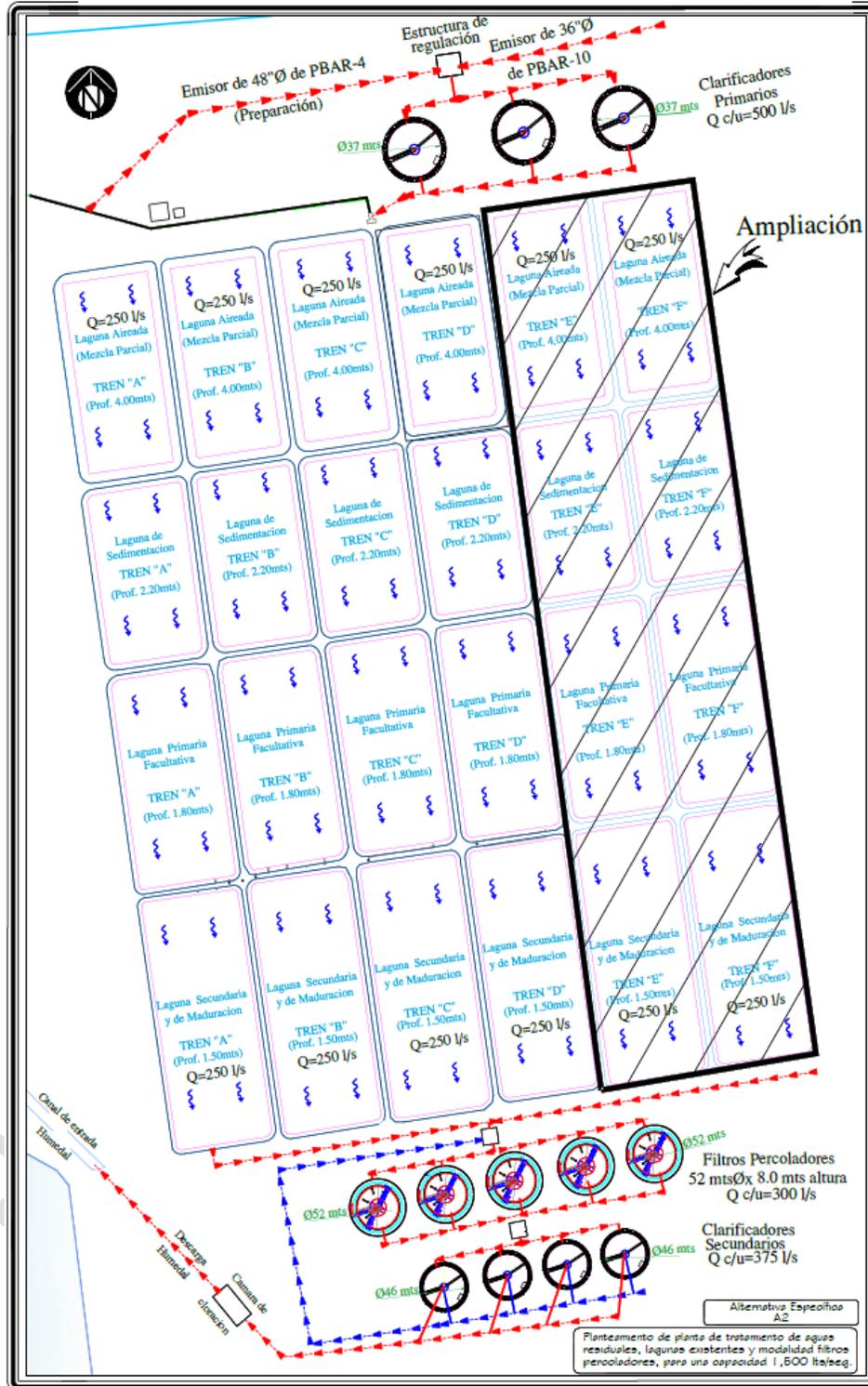


Figura 17. Alternativa A2. Reingeniería de la planta actual y ampliación de la capacidad de tratamiento hasta 1,500 L/s mediante una planta con filtros percoladores.

**Alternativa B1. Reingeniería de la planta actual con la construcción de una planta de lodos activados convencional con una capacidad de 840 L/s y construcción de**

**planta de tratamiento de lodos activados en la ciudad de 660 L/s, para una capacidad total de 1,500 L/s.**

Cálculo de sedimentadores primarios en "Las Arenitas"

Número de sedimentadores primarios	3	
Capacidad de diseño de la planta	840	L/s
Gasto para un sedimentador	280	L/s
	24,192	m <sup>3</sup> /día
Carga superficial (Cs) en sedimentadores primarios	40	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x día
Área	605	m <sup>2</sup>
Diámetro	28	m

Cálculo de reactores para lodos activados convencional después del sistema lagunar en "Las Arenitas"

Elegir el número de reactores para lodos activados convencional	3	
Capacidad de diseño de la planta	280	L/s
	24,192	m <sup>3</sup> /día
Tiempo de retención	5	horas
	5,040	m <sup>3</sup>
Profundidad del reactor	5	m
Área	1,008	m <sup>2</sup>
		m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Relación 1 a:	3	x día
Ancho	18	m
Largo	55	m
20% más largo para lograr la remoción de nitrógeno	66	m

Cálculo de sedimentadores secundarios para lodos activados convencional después del sistema lagunar en "Las Arenitas"

Número de sedimentadores secundarios de lodos activados convencional	3	
Capacidad de diseño de la planta	840	L/s
Gasto para un sedimentador	280	L/s
	24,192	m <sup>3</sup> /día
Carga superficial (Cs) en sedimentadores primarios para lodos activados convencional	24	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x día
Área	1008	m <sup>2</sup>
Diámetro	36	m

Cálculo de sedimentadores primarios en la ciudad

Elegir el número de sedimentadores primarios	2	
Capacidad de diseño de la planta	660	L/s
Gasto para un sedimentador	330	L/s
	28,512	m <sup>3</sup> /día
Carga superficial (Cs) en sedimentadores primarios	40	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x día
Área	713	m <sup>2</sup>
Diámetro	30	m

Cálculo de reactores para lodos activados convencional en la ciudad

Elegir el número de reactores para lodos activados convencional	2	
Capacidad de diseño de la planta	330	L/s
	28,512	m <sup>3</sup> /día
Tiempo de retención	8	horas
	9504	m <sup>3</sup>
Profundidad del reactor	5	m
Área	1901	m <sup>2</sup>
Relación 1 a:	3	
Ancho	25	m
Largo	76	m
20% más largo para lograr la remoción de nitrógeno	91	m

### Cálculo de sedimentadores secundarios para lodos activados convencional en la ciudad

Elegir el número de sedimentadores secundarios de lodos activados convencional	2	
Capacidad de diseño de la planta	660	L/s
Gasto para un sedimentador	330	L/s
	28,512	m <sup>3</sup> /día
Carga superficial (Cs) en sedimentadores primarios para lodos activados convencional	24	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x día
Área	1188	m <sup>2</sup>
Diámetro	39	m

### Cálculo de la cámara de contacto de cloro en la ciudad

Capacidad de diseño de la planta	660	L/s
Volumen	1,188	m <sup>3</sup>
Tiempo de contacto	30	min
Profundidad en cámara de contacto	2	m
Área	594	m <sup>2</sup>
Ancho	17	m
Largo	35	m

En las figuras 18 y 19 se muestra el esquema de la alternativa B1.

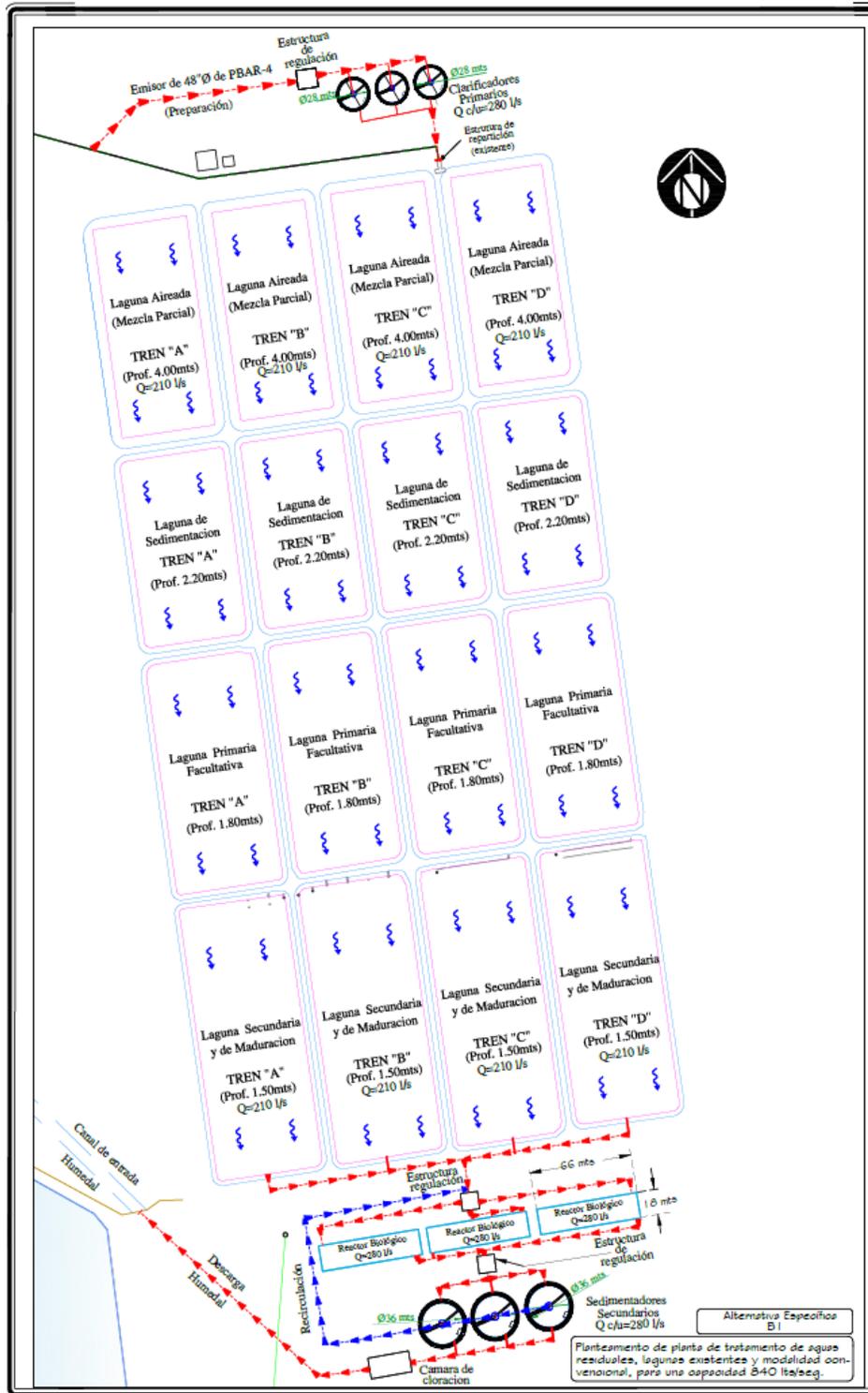


Figura 18. Alternativa B1. Reingeniería de la planta actual con la construcción de una planta de lodos activados convencional con una capacidad de 840 L/s.

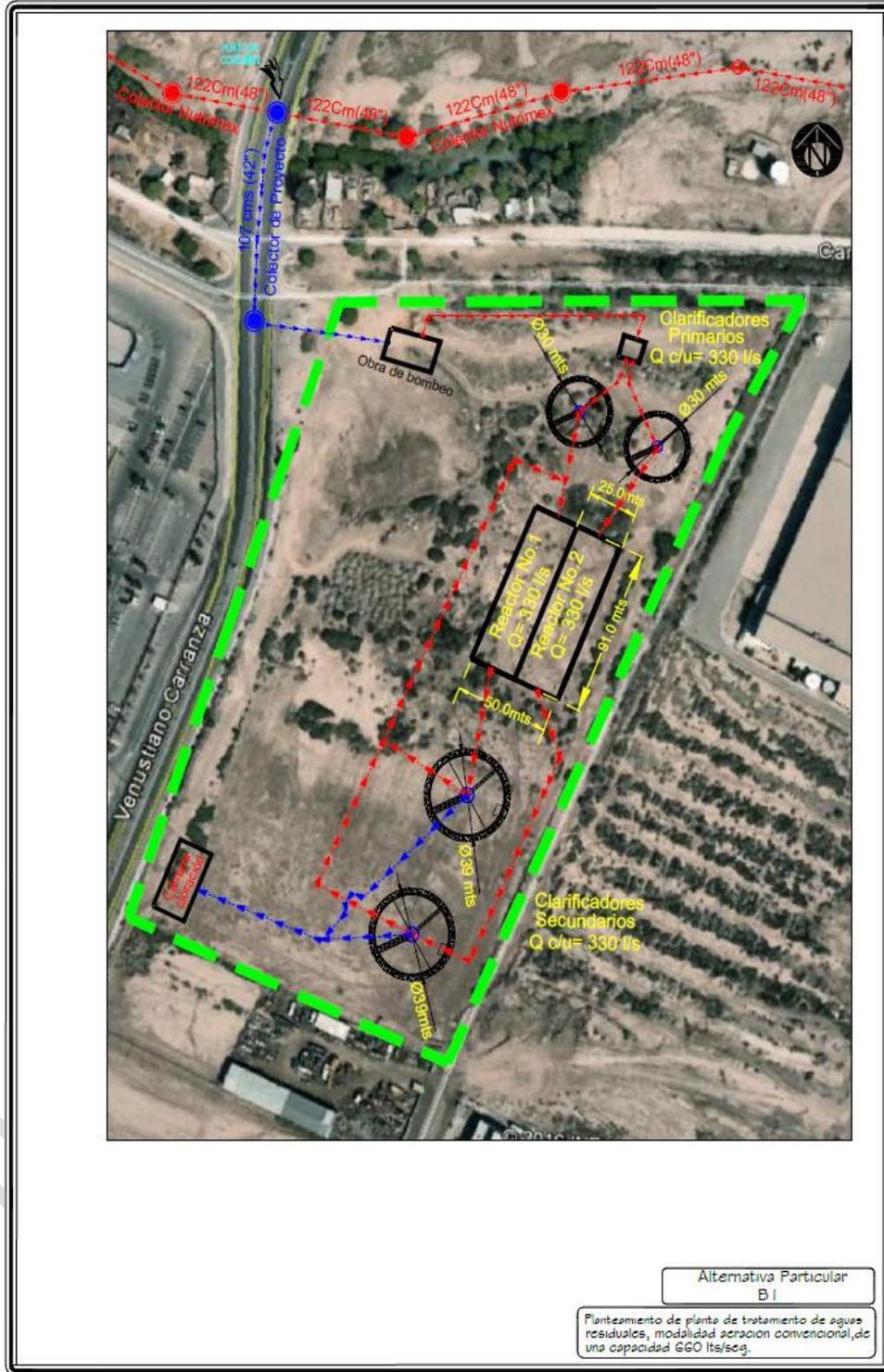


Figura 19. Alternativa B1. Construcción de planta de tratamiento de lodos activados en la ciudad de 660 L/s, para una capacidad total de 1,500 L/s.

## **10 Conclusiones y recomendaciones**

Es preponderante la realización de un proyecto ejecutivo, para la ampliación de la capacidad de tratamiento de los sistemas de alcantarillado y saneamiento Mexicali I y II de la ciudad de Mexicali, ya que la capacidad hidráulica de 840 L/s de la planta de tratamiento, ha sido rebasada desde 2014, además aunado a lo anterior, la problemática se incrementa debido a otros factores, tales como la falta de aireación (oxígeno), deficiencias en el pretratamiento (acumulación de arenas), azolve en las lagunas de tratamiento y la calidad del agua cruda que excede en algunos parámetros, lo establecido en las bases de diseño, se han conjuntado provocando serios problemas de cumplimiento en el efluente, principalmente con el Nitrógeno, ocasionando un pago por derechos por el incumplimiento establecido en la NOM correspondiente.

La metodología nos llevó de un planteamiento general a planteamientos particulares y específicos. Las premisas más importantes fueron el utilizar el terreno de las Arenitas y las instalaciones de tratamiento existentes al máximo para tener ahorros tanto en infraestructura como en costo de terreno. Se recomienda realizar la rehabilitación del sistema lagunar actual de la PTAR "Las Arenitas" y tomar en cuenta en la ampliación de la capacidad de tratamiento, hasta 1,500 litros por segundo, en los predios propios de CESPМ para minimizar costos de construcción.

Se planteó el utilizar las lagunas existentes como un primer paso de tratamiento considerando un diseño modular, y al efluente de las mismas proporcionarle el tratamiento requerido para cumplir con los parámetros de la NOM-001, esto en términos de procesos es conocido como tratamiento Dual.

Es importante tomar en consideración que el proceso de tratamiento seleccionado realizará la remoción de nitrógeno para llevarlo a menos de 40 mg/L en la descarga y dar cumplimiento a la normatividad, exentado el pago de derechos. El utilizar las lagunas existentes conllevará a grandes ahorros en infraestructura ya que se tendrán reactores diseñados con bajas cargas orgánicas y el tratamiento de nutrientes podrá ser implementado fácilmente.

Se considera que el tratamiento y manejo de lodos será de tipo anaerobio con generación de energía y será centralizado en el terreno de Las Arenitas para todas las alternativas. Esto se optimiza al incluir sedimentadores primarios y tratamiento biológico, principalmente el lodo activado convencional y/o los filtros percoladores previos al tratamiento anaerobio de lodos.

La combinación de factores a considerar, costo de alternativas, uso y ahorro de energía, facilidad del tratamiento, entre otros, nos llevó a las alternativas seleccionadas al final del ejercicio. Con este trabajo se llegó al planteamiento de 3 alternativas posibles para el saneamiento del agua residual generada en los sistemas de alcantarillado y saneamiento Mexicali II y IV.

La alternativa de tratar un caudal de 660 L/s en terrenos dentro de la ciudad, otorga importantes beneficios, pues al contar con agua residual tratada dentro de la zona urbana, facilitaría la promoción del reúso urbano del agua residual tratada, al considerar dentro de lo posible líneas moradas (agua residual tratada), además de algún tanque o tanques de almacenamiento de agua para reúso.

Se recomienda realizar un muestreo representativo en el agua cruda que alimentará las plantas de tratamiento consideradas en las alternativas, para tener mejores bases de diseño y más certeza en los procesos y su dimensionamiento.

Comprobar el gasto de diseño, de acuerdo con el crecimiento poblacional y otros factores como el suministro de agua potable, pérdidas de agua en las redes, dotaciones, entre otros y concluir si el gasto de diseño de 1,500 L/s es el adecuado.

Investigar y sondear sobre los posibles financiamientos ya que se trata de una fuerte inversión. Además, se requiere un análisis financiero más detallado para la selección de alternativas.

Este ejercicio nos llevó a seleccionar estas 3 alternativas, en las cuales se realizó un análisis aunque preliminar pero más completo que el efectuado en las no seleccionadas. Por tanto ahora se recomienda profundizar en el análisis de estas, introduciendo otras variables o parámetros de decisión, quizás considerando factores internos, políticos o sociales que de alguna forma incidan en la selección final de la más conveniente, gestionar los recursos financieros y en su caso elaborar el correspondiente diseño ejecutivo para su construcción, continuando así, en la solución al saneamiento de las aguas residuales generadas en las zonas de Mexicali II y IV.

Finalmente creemos que la profundidad de este análisis de alternativas de tratamiento de agua residual de los sistemas Mexicali II y IV de la ciudad de Mexicali, Baja California, nos permitió concluir y hacer las recomendaciones pertinentes.

**11 Personal del equipo multidisciplinario que participó en este trabajo de identificación y análisis conceptual de alternativas para el tratamiento de las aguas residuales de los sistemas Mexicali II y IV.**

Nombre	Dependencia	Teléfono	Correo Electrónico
<b>José de Jesús Meléndez Macías</b>	CEABC	(664)622-4956	<a href="mailto:jjesusmm@ceabc.gob.mx">jjesusmm@ceabc.gob.mx</a>
<b>Jesús Roberto Serrano Morales</b>	CESPE	(646)116-4412	<a href="mailto:Roberto.serrano@cespe.gob.mx">Roberto.serrano@cespe.gob.mx</a>
<b>Jesús Zamora Salazar</b>	CESPM	(686)564-1967	<a href="mailto:Jzamora@cespm.gob.mx">Jzamora@cespm.gob.mx</a>
<b>Jesús Iban Leal Moreno</b>	CESPM	(686)564-2604	<a href="mailto:jleal@cespm.gob.mx">jleal@cespm.gob.mx</a>
<b>Ismael Arvizu Cota</b>	CESPM	(686)564-1967	<a href="mailto:jarvizu@cespm.gob.mx">jarvizu@cespm.gob.mx</a>
<b>Amado Godoy Pérez</b>	CESPM	(686)564-1967	<a href="mailto:agodoy@cespm.gob.mx">agodoy@cespm.gob.mx</a>
<b>Luis Antonio Hernández</b>	CESPM	(686)564-1982	<a href="mailto:ahernandez@cespm.gob.mx">ahernandez@cespm.gob.mx</a>
<b>Christian F. Manjarrez Jiménez</b>	CESPM	(686)564-1967	<a href="mailto:cmanjarrez@cespm.gob.mx">cmanjarrez@cespm.gob.mx</a>
<b>Abraham Castro Rubio</b>	CESPM	(686)564-2602	<a href="mailto:acastro@cespm.gob.mx">acastro@cespm.gob.mx</a>
<b>Ernesto Alonso Velazco López</b>	CESPM	(686)564-2602	<a href="mailto:evelazco@cespm.gob.mx">evelazco@cespm.gob.mx</a>
<b>Benjamín Carrillo Mata</b>	CESPM	(686)564-2602	<a href="mailto:bcarrillo@cespm.gob.mx">bcarrillo@cespm.gob.mx</a>
<b>Antonio Ramírez González</b>	IMTA	(777)329-3622	<a href="mailto:tramirez@tlaloc.imta.mx">tramirez@tlaloc.imta.mx</a>

## 12 Referencias

Crites, R., & Tchbanoglous, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Primera edición. Editorial Mc Graw-Hill. ISBN: 0-07-289087-8.

EPA, 1992. (s.f.). Environmental Protection Agency "Guidelines for Water Reuse". EPA/628/R-92/004.

EPA, 2011. (s.f.). Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers. Office of Research and Development National Risk Management Research Laboratory. EPA/600/R-11/088. United States.

Glenn M. Tillman. (1992), Primary Treatment at Wastewater Treatment Plants. ISBN 0-87371-428-8. Lewis Publisher, Inc.

Glenn M. Tillman. (1992), Basic Mechanical Maintenance Procedures at Water and Wastewater Plants. ISBN 0-87371-428-8. Lewis Publisher, Inc.

Grady, C. P., & Lim, H. C. (1980). Biological Wastewater Treatment Theory and Applications. Marcel Dekker, New York.

Metcalf, & Eddy. (2003). Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th edition. McGraw Hill, New York. ISBN: 0-07-041878-0.

Ramírez González , A., Pozo Román , F., & Sandoval Yoal, L. (2007). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales por lagunas, lodos activados y filtros rociadores. Ed. IMTA.

Rolim Mendoca, S. (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. McGraw Hill. ISBN: 958-41-0090-4.

Syed R. Qasim, (1994). Wastewater Treatment Plants, Planning, design and operation. Technomic publication.

Water Pollution Control Federation. Clarifier Design. Manual of Practice FD-8 (1985). ISBN 0-943244-61-7. USA. World Composition Services, Inc.

Water Pollution Control Federation. Preliminary Treatment for Wastewater Facilities. Manual of Practice Operation & Maintenance-02 (1980). Lancaster Press, Inc.

Water Pollution Control Federation. Plant Maintenance Program. Manual of Practice Operation & Maintenance-3 (1982). Lancaster Press, Inc.

**COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE BAJA CALIFORNIA  
INSTITUTO ESTATAL DEL AGUA  
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN**



**DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA ADECUACION DEL  
PROCESO BIOLÓGICO DE LA PTAR DE TECATE, BAJA  
CALIFORNIA**

---

**Realizado por un equipo de trabajo que se integró con personal de la Subdirección Técnica de la CESPTE, la asesoría técnica del Ing. Antonio Ramírez González, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), y la coordinación de la CEA, a través del Instituto Estatal del Agua**

Tecate, Baja California, junio 2017

---

## Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Objetivo .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Antecedentes .....</b>	<b>5</b>
3.1	Caudales y calidad .....	7
3.2	Pago de derechos .....	9
<b>4</b>	<b>Diagrama del sistema de saneamiento de Tecate.....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Datos básicos.....</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Metodología y consideraciones para integrar las alternativas .....</b>	<b>12</b>
6.1	Alternativas generales .....	14
6.2	Alternativas específicas.....	17
<b>7</b>	<b>Predimensionamiento de las tres alternativas seleccionadas .....</b>	<b>17</b>
<b>8</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>25</b>
<b>9</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>27</b>

## Figuras

Figura 1 Vista satelital de la PTAR Tecate .....	5
Figura 2 Diagrama de flujo de PTAR Tecate.....	6
Figura 3 Diagrama de flujo del tratamiento de lodos, con la adición de la banda espesadora. .....	6
Figura 4 Criterios de diseño .....	7
Figura 5 Caudal anual promedio 2007-2016.....	8
Figura 6 Calidad del efluente de la PTAR Tecate 2013-2017. ....	9
Figura 7 Proyección del caudal del efluente de la PTAR Tecate de 2016 a 2035. ....	10
Figura 8 Plano del sistema de alcantarillado y saneamiento de Tecate. ....	11
Figura 9 Esquema dual con tanque de contacto de sólidos .....	19
Figura 10 Esquema dual con lodos activados convencional.....	21
Figura 11 Esquema dual con filtros percoladores en serie.....	24

## Tablas

Tabla 1 Gastos promedio 2016 en litros por segundo. ....	6
Tabla 2 Datos básicos para el diseño conceptual. ....	12
Tabla 3 Alternativas generales. ....	15
Tabla 4 Comparativo de alternativas generales.....	17

## **1 Introducción**

El Estado de Baja California tiene un número importante de plantas de tratamiento de aguas residuales, operando en diferentes condiciones. Por diferentes causas, algunas cumplen permanentemente con la normatividad establecida y otras presentan serios problemas en la calidad de sus efluentes. Debido a tal situación se hace necesario realizar en todas ellas una evaluación integral, que contemple desde el diseño hasta la operación y mantenimiento, donde se revisen las desviaciones que en su caso existan entre el proyecto ejecutivo y la obra terminada, los procedimientos operativos versus el manual de operación, el mantenimiento de los equipos electromecánicos, las prácticas administrativas y el estado general de la planta.

Como consecuencia de lo anterior se forma el Grupo Evaluador de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (GEPTAR), coordinado por la Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEA), a través del Instituto Estatal del Agua; para potenciar el trabajo en equipo de los profesionales relacionados directamente con el área, en cada uno de los organismos operadores de los servicios de agua y saneamiento en el Estado, y de esta forma aprovechar el intercambio de experiencias, generando una sinergia que provoque un trabajo progresivo y constante, la mejora continua de la operatividad y el cumplimiento estricto de la normatividad aplicable, así como de los objetivos particulares en cada planta.

En la elaboración de los nuevos proyectos para la construcción de plantas de tratamiento, es importante y primordial realizar una planeación detallada, que no omita ningún aspecto relevante en las fases del diseño; que la información base utilizada, se revise y valide, buscando con esto que todos los nuevos proyectos consideren las variaciones reales que deberán soportar, principalmente en términos de cantidad y calidad del agua residual que ingresa al tratamiento. Con el estricto cumplimiento de lo anterior, será posible producir un efluente con la calidad establecida y acorde al tipo de reúso y/o aprovechamiento considerado en las Normas Oficiales Mexicanas. La implementación sistemática de estos procedimientos garantizará que todos los nuevos proyectos sean exitosos.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Tecate, durante los años que tiene en operación, ha cumplido en general con la calidad establecida en la NOM-001-SEMARNAT-1996, sin embargo, en los meses más calientes del año, opera al límite de su funcionamiento para lograr mantener la calidad mencionada en la norma, y en algunos casos, en cuanto a promedio diario se refiere, no llega a cumplir. En cuanto a los promedios mensuales que son los que solicita CONAGUA para la revisión del cumplimiento, no se ha tenido problemas.

Este documento presenta un análisis general de alternativas para la rehabilitación y/o adecuación del proceso biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales, cuya situación actual presenta una seria problemática en la uniformidad del efluente, en lo referente a la eliminación de la carga orgánica, pero principalmente con el nitrógeno.

Para llevar a cabo los trabajos de análisis y selección de alternativas, se consideró la importancia de contar con asesoría de amplia experiencia en el manejo del tema, para lo cual

se contrataron los servicios del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), a través del M.I. Antonio Ramírez González para fungir como asesor del grupo de trabajo. La parte inicial del análisis se llevó a cabo en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tecate, durante la semana del 29 de mayo al 2 de junio de 2017.

## **2 Objetivo**

Elaborar un documento que contenga el diseño conceptual para la rehabilitación y/o adecuación del proceso biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tecate, a fin de que la calidad del efluente cumpla con lo establecido en la NOM-003-SEMARNAT-1997, y se propicie el reúso para actividades que tengan contacto directo con el agua residual tratada.

Por lo anterior resulta de gran importancia, planear a corto y largo plazo, las acciones que se requieran para estar en condiciones de producir agua tratada que cumpla permanentemente con la calidad establecida en la citada normatividad para reúso, facilitando con ello la promoción para su aprovechamiento integral.

Las condicionantes para la elaboración del diseño conceptual de la rehabilitación y/o adecuación del proceso biológico de la planta de tratamiento son:

- Diseñar para la capacidad nominal de la PTAR (200 L/s)
- Utilizar solo información y datos básicos validados
- Aprovechar en lo posible la infraestructura existente
- Cumplir con todos los parámetros de la NOM-003-SEMARNAT-1997
- Revisar el año donde se alcanza la capacidad de la planta (200 L/s)

El reúso del agua residual tratada se ha convertido en una excelente opción para dejar de utilizar agua de primer uso en riego de áreas verdes, terracerías y riego agrícola, entre otras, además de ser una de las acciones prioritarias establecidas en la Ley de Protección al ambiente para el Estado de Baja California, la cual establece en su artículo 96, que los parques urbanos y las áreas de propiedad pública sean regados exclusivamente con agua residual tratada. Por otro lado, El Plan Estatal de Desarrollo 2014-2019 en su eje 5 "Infraestructura para la competitividad y Desarrollo" establece el lineamiento 5.5.3 cuyo objetivo es "*Promover e implementar proyectos locales e intermunicipales de aprovechamiento de aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes urbanas, uso agrícola, industrial, ecológico y recarga de acuíferos*".

### 3 Antecedentes

La planta de tratamiento de aguas residuales de Tecate inició operaciones en 1975 con una capacidad de tratamiento de 100 L/s, su diseño inicial constaba de un pretratamiento, sedimentación primaria a base de un tanque Imhoff, con filtro percolador de piedra como tratamiento biológico, sedimentación secundaria y desinfección con cloro gas.

En 1995 se amplió la capacidad a 200 L/s construyendo un sedimentador primario y un sedimentador secundario, sin embargo, a pesar de este aumento en la capacidad, el efluente de la planta no lograba mantener la calidad requerida en la norma. No fue sino hasta el 2005, cuando con un proyecto más completo, se efectuó una rehabilitación integral de todo el sistema de tratamiento, con un costo de más de 50 millones de pesos. En esta obra se realizó el cambio del medio filtrante por uno sintético y se integró al proceso la línea de tratamiento de lodos, considerado esto como la parte innovadora del proyecto.

El GEPTAR evaluó la PTAR de Tecate en el año 2011, y dentro de las recomendaciones se señaló la necesidad de contar con un sistema de espesado de lodos. Esta recomendación se llevó a cabo en el año 2014, con la instalación e inicio de operación de este proceso con excelentes resultados hasta la fecha. De forma similar en esa evaluación se identificó el problema de variabilidad que se presenta en el proceso biológico (filtros percoladores), que ocurre entre la época más fría y la más caliente en términos de eficiencia, habiendo quedado pendiente un análisis detallado, para plantear la propuesta de solución, debido esto a falta de información suficiente.

#### UBICACIÓN

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se ubica en la zona oeste de la ciudad de Tecate, dentro de la mancha urbana, en la margen derecha del río Tecate.

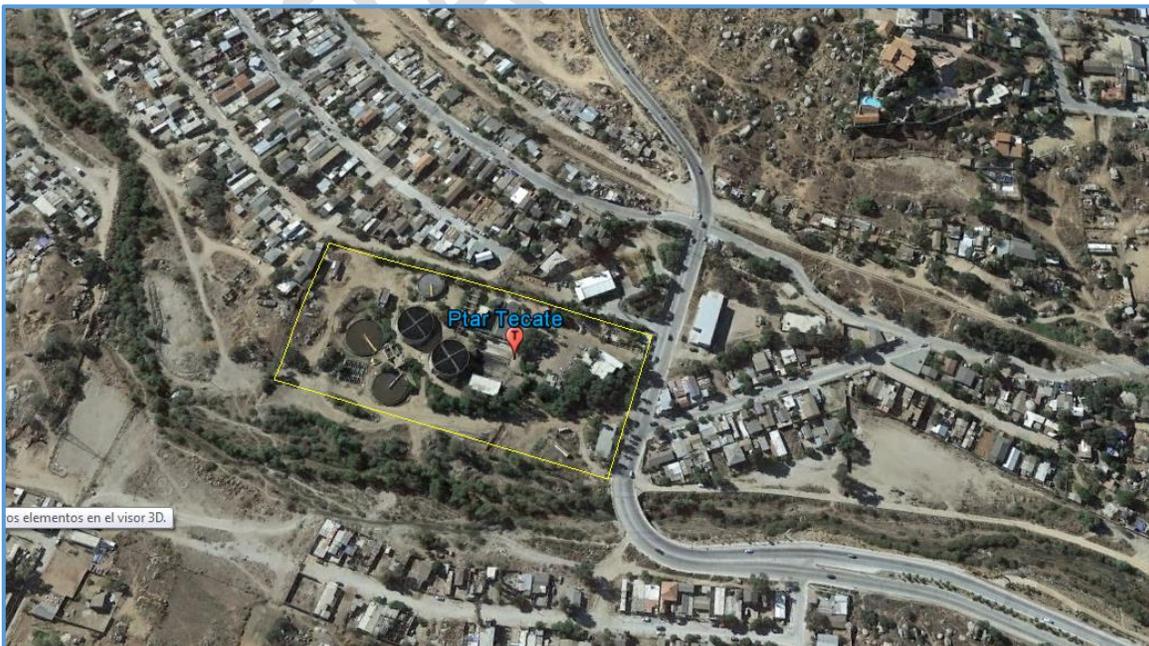


Figura 1 Vista satelital de la PTAR Tecate

La planta da servicio casi al 98% de la población de la ciudad y durante el 2016, el gasto promedio fue de 154 L/s, operando a un 77% de su capacidad. Ver la siguiente tabla.

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
153.3	153.3	151	152.1	156.2	160.5	164.1	168.4	138.8	162.9	145.8	141.8

Tabla 1 Gastos promedio 2016 en litros por segundo.

El diseño de la planta de tratamiento se integra con el pretratamiento donde se elimina basura gruesa, arena y sólidos mayores a 2 mm, después se cuenta con sedimentación primaria seguida de un tratamiento biológico a base de filtros percoladores para posteriormente pasar por una sedimentación secundaria, terminando con una desinfección del agua tratada. En lo que a lodos se refiere, se cuenta con un espesado mecánico, una digestión aerobia y un desaguado a base de un filtro banda y su disposición final.

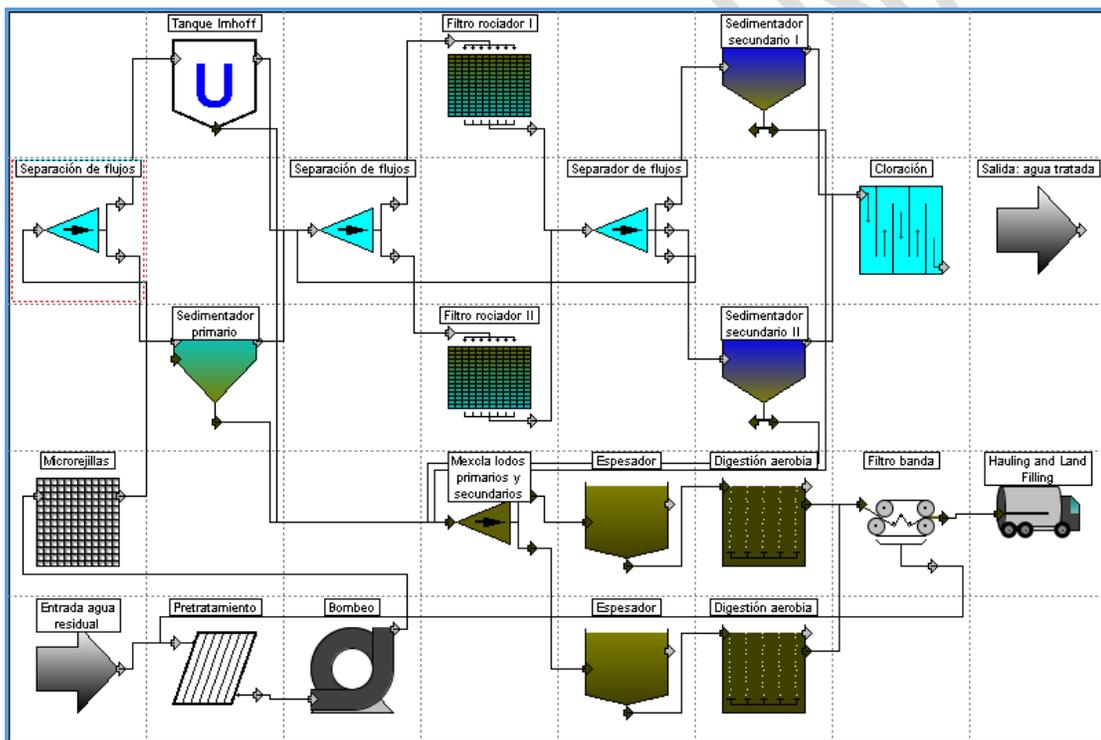


Figura 2 Diagrama de flujo de PTAR Tecate.

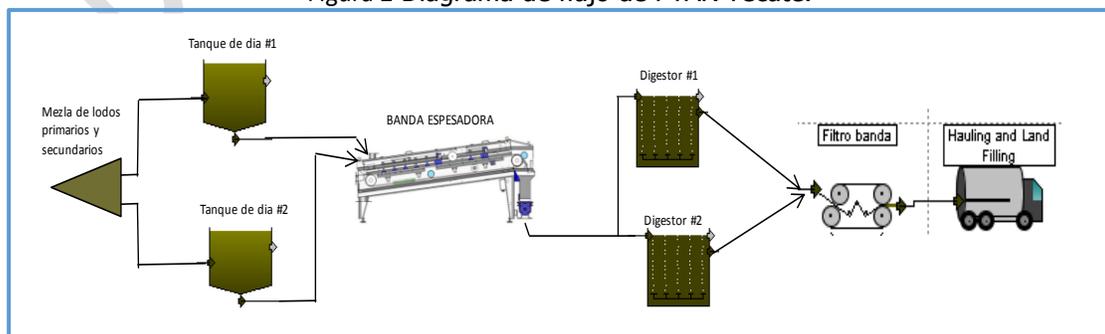


Figura 3 Diagrama de flujo del tratamiento de lodos, con la adición de la banda espesadora.

### 3.1 Caudales y calidad

Según los criterios de diseño de Black & Veatch International para la PTAR Tecate, la rehabilitación llevada a cabo en el 2005 tomó como base la llamada "Etapa I".



PROYECTO EJECUTIVO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

---

**CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE PROCESOS**

1. Caudales de las aguas residuales

	Actual (2001)	Etapa 1 (2002)*	Etapa 2 (2009)*	Construcción Total (2013)*
Promedio anual de 24 horas (PA), mgd (Lps)	3.53 (155)	4.15 (182)	5.70 (250)	6.8 (300)
Promedio del mes máximo (PM), mgd (Lps)	3.88 (170)	4.56 (200)	6.27 (275)	7.5 (330)
Caudal hidráulico pico, mgd (Lps)	-	8.30 (364)	11.40(500)	13.7(600)

\* Ver Figura 1  
\*\* Factor de pico, PA al pico, 1:2

2. Características de las aguas residuales influentes a la planta

	PA/ PM
Demanda bioquímica de oxígeno, (DBO <sub>5</sub> ), mg/l	325/400
SST, mg/l	325/380
SSV/SST	0.8
T, °C, promedio anual	22
T, °C, invierno	12
T, °C, verano	30

3. Límites del efluente de la planta

DBO <sub>5</sub> , mg/l	20
SST, mg/l	20
Requerimiento de desinfección	
• Coliformes fecales:	240 NMP/100 mL
• Huevos de helminto:	1/L

---



BLACK & VEATCH INTERNATIONAL

7

Figura 4 Criterios de diseño

De acuerdo con la figura anterior, Black & Veatch, diseñó para un flujo promedio anual de 182 L/s y un mes máximo de 200 L/s. CESPTE maneja la capacidad de 200 L/s por sus instalaciones hidráulicas. En cuanto a la calidad del efluente, se consideraron los parámetros para reúso con contacto directo con los criterios de diseño la DBO, los SST, las coliformes fecales y los huevos de helminto, sin embargo, en el título de concesión se debe cumplir con los parámetros de NOM-001-SEMARNAT-1996, para un cuerpo receptor tipo B.

### ***Gastos de diseño y operación***

A continuación se muestran los flujos promedios de operación de los últimos años

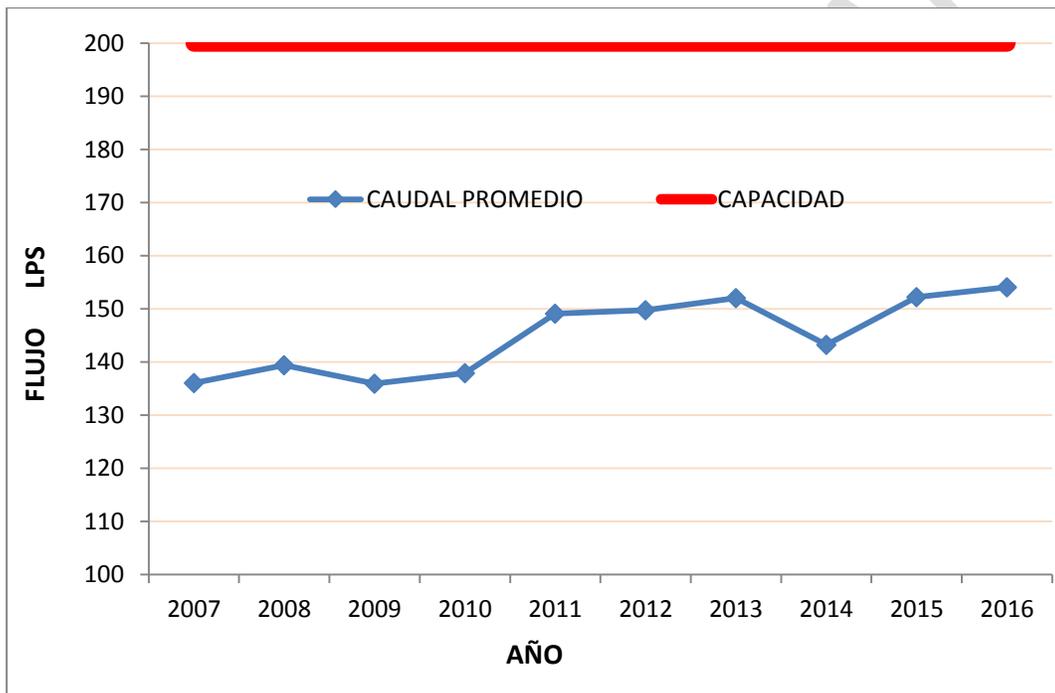


Figura 5 Caudal anual promedio 2007-2016.

Respecto a la calidad del agua tratada, durante los últimos 5 años se han tenido resultados adecuados para el cumplimiento de los límites particulares de la descarga, sin embargo, aunque se ha cumplido en la gráfica siguiente se observa que la mayor parte de los valores de SST y DBO están entre los 20 y 75 mg/L.

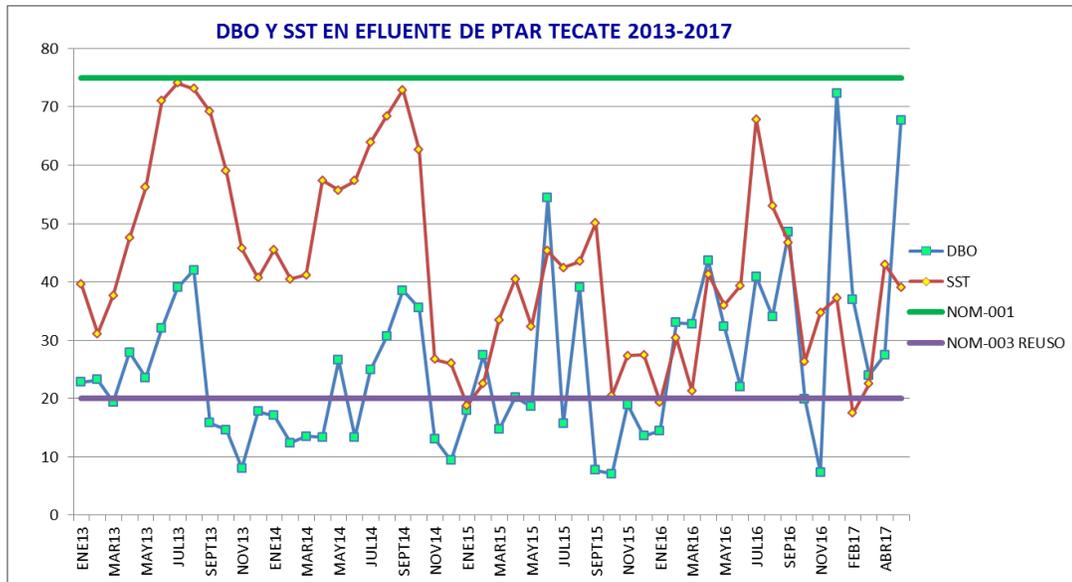


Figura 6 Calidad del efluente de la PTAR Tecate 2013-2017.

Al observar la gráfica se deduce que aun cumpliendo con el límite máximo permisible marcado en la NOM-001, es necesario disminuir los valores de SST y DBO por debajo de la línea morada, que sería el límite máximo permisible para reuso con contacto directo, para tener un efluente de reuso confiable. El análisis de alternativas considerará estos valores como entrada al nuevo reactor que se proponga y los valores de salida los de la NOM-003.

### 3.2 Pago de derechos

A través de los últimos 15 años la Ley Federal de Derechos ha sufrido varios cambios, se cobraba por los kilos de cada contaminante, después, se establecieron tarifas para cobrar por la concentración de DQO en los efluentes y actualmente se tiene establecido un costo por metro cúbico descargado con la premisa de que con un solo parámetro que no cumpla con lo establecido en el título de concesión de la PTAR, se aplica el artículo 276, y estarán obligados a pagar el derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación.

En el 2015 el costo por metro cúbico descargado fue de \$1.69, en el 2016 de \$1.73 y en este año es de \$1.79. Por efecto del octavo transitorio, los costos bajan a \$0.6084, \$0.7439 y \$0.9129 por metro cúbico respectivamente para los años mencionados.

Para la CESPTE que descarga un promedio de 4.8 millones de metros cúbicos por año representaría un pago en derechos por el monto de 4.4 millones de pesos para ese volumen anual, lo que representa un fuerte egreso para el organismo.

## Consideraciones generales

En los últimos años, en la PTAR Tecate, durante el verano, se presentan varios problemas operativos que dificultan el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996, se tienen problemas con la DBO y los sólidos suspendidos totales que llegan a niveles cercanos a 75 mg/L; y con el nitrógeno, que en algunos muestreos presentan concentraciones por arriba de 50 mg/L.

## Población y gasto de diseño al 2035

La proyección del caudal del efluente de la PTAR Tecate hasta el año 2035 se obtuvo utilizando la tasa de crecimiento anual de la ciudad de Tecate que actualmente es de 1.46% (dato manejado institucionalmente). La CONAPO, para la ciudad de Tecate, maneja un menor de crecimiento, sin embargo, se consideran otras zonas de la ciudad que siguen siendo consideradas como zona rural por esta dependencia, para llegar al 1.46%.

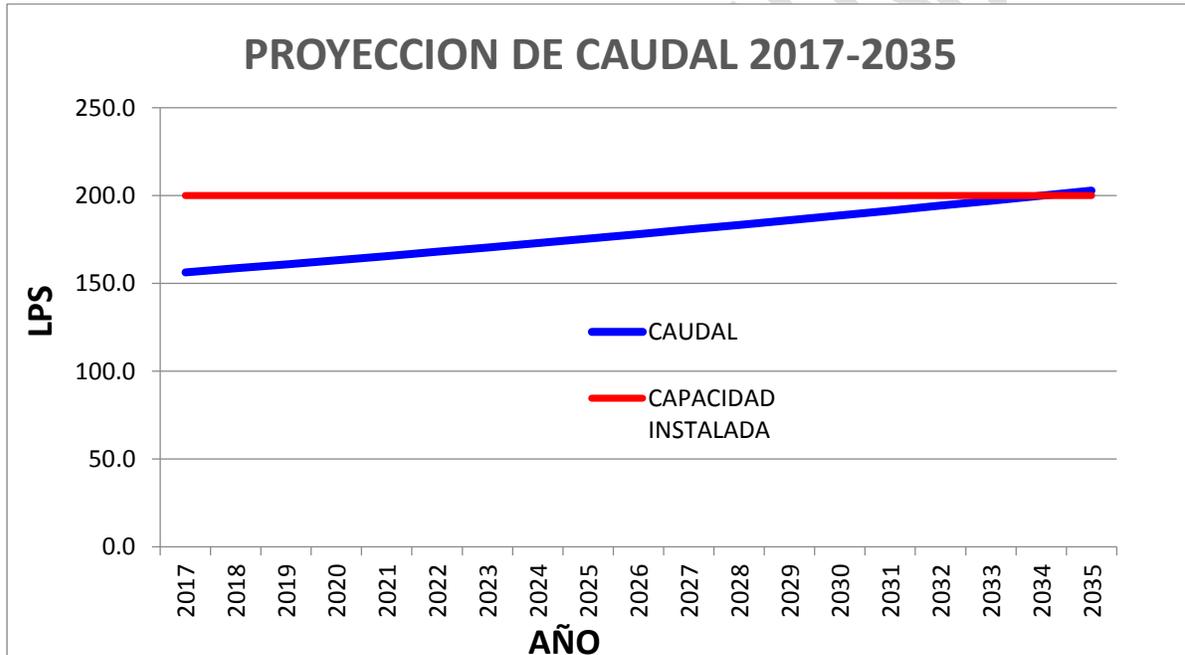


Figura 7 Proyección del caudal del efluente de la PTAR Tecate de 2016 a 2035.

De acuerdo con la figura anterior se infiere que no es necesario ampliar la capacidad de tratamiento existente y el gasto medio de diseño se conserva en 200 L/s.

## 4 Diagrama del sistema de saneamiento de Tecate

La ciudad de Tecate cuenta con sólo una planta de tratamiento que le da servicio a toda la población y gracias a su topografía, gran parte del agua residual ingresa por gravedad, sin embargo, para algunas zonas y nuevos asentamientos fue necesaria la construcción de cárcamos de bombeo para sanear el 100% de agua residual generada.

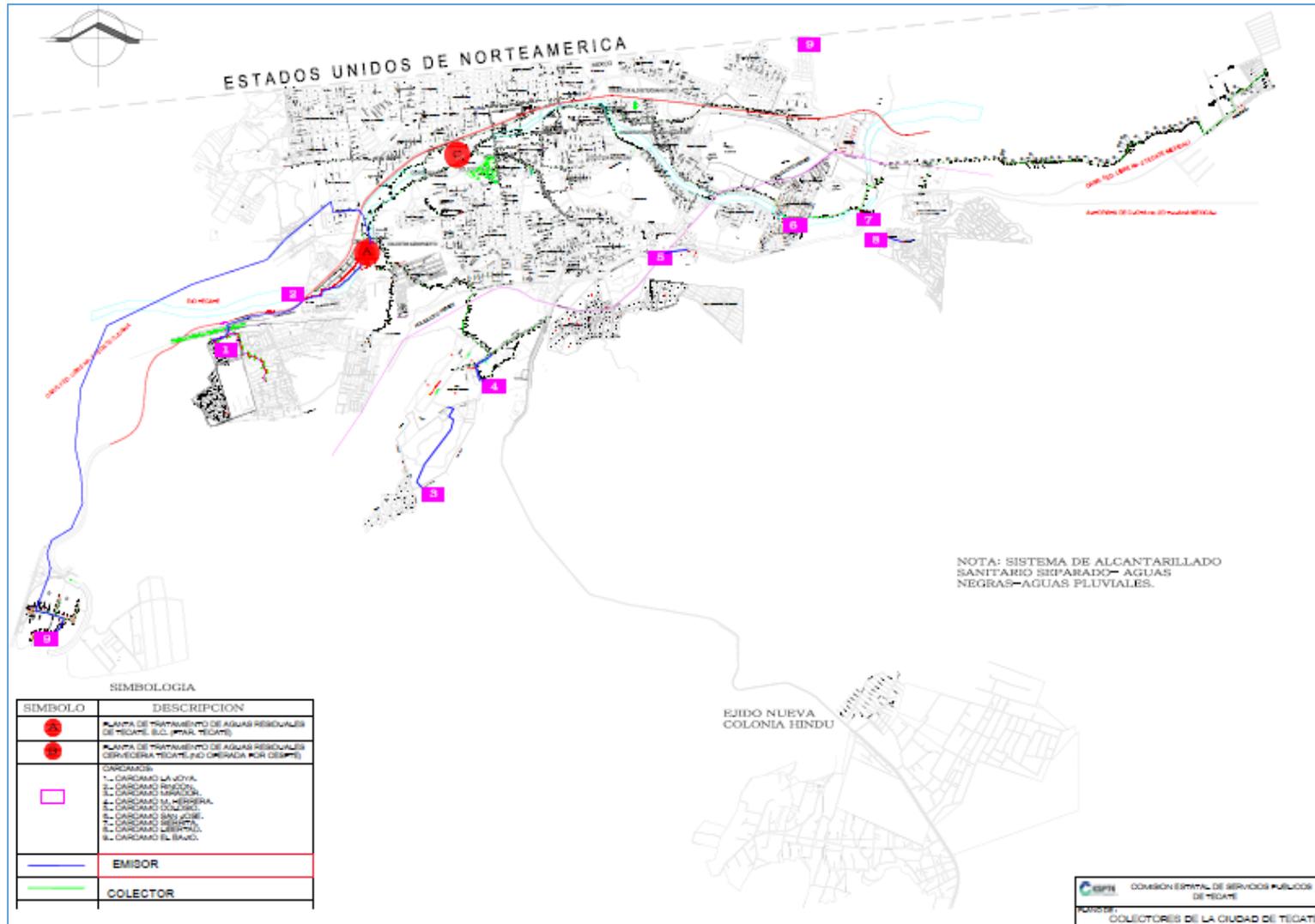


Figura 8 Plano del sistema de alcantarillado y saneamiento de Tecate.

## 5 Datos básicos

En la tabla siguiente se anotan los datos básicos para el diseño conceptual:

<b>Normatividad aplicable legalmente</b>	NOM-001-SEMARNAT-1996
<b>Normatividad para reúso</b>	NOM-003-SEMARNAT-1997
<b>Caudal hasta el 2034 (L/s)</b>	200
<b>Parámetros críticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DBO (20 mg/L)</li> <li>• Nitrógeno (40 mg/L)</li> <li>• Fósforo (20 mg/L)</li> <li>• SST (20 mg/L)</li> <li>• Coliformes fecales (240 NMP/100mL)</li> </ul>
<b>Concentración DBO promedio en agua cruda</b>	350 mg/L
<b>Concentración promedio de DBO soluble a la salida del filtro rociador</b>	55 mg/L
<b>Concentración de Nitrógeno(N) en agua cruda</b>	70 mg/L
<b>Concentración Fosforo(P) en agua cruda</b>	6 mg/L

Tabla 2 Datos básicos para el diseño conceptual.

## 6 Metodología y consideraciones para integrar las alternativas

Como parte inicial de los trabajos del grupo técnico para la elaboración de la propuesta del Diseño conceptual para la rehabilitación y/o adecuación del proceso biológico de la PTAR de Tecate, se revisó el área de ventilación requerida por los filtros percoladores existentes, para ver la posibilidad de aumentar la eficiencia de los filtros actuales y tratar de disminuir el tamaño de las unidades que se propongan.

El área actual de ventilación natural es mediante orificios cuadrados de 0.7 m x 0.615 m que nos da un total de 0.43 m<sup>2</sup> por ventila, cada filtro tiene 8 ventilas, por lo que el área total de ventilación en cada filtro es de (0.43 m<sup>2</sup>)(8) = 3.44 m<sup>2</sup>.

El área requerida según recomendación del MOP-8 página 701 de la edición 1992, es de 1 a 2 m<sup>2</sup> por cada 1000 m<sup>3</sup> de medio filtrante.

Calculando para los filtros existentes de 25 m de diámetro y 7.3 m de altura, el área superficial y volumen de cada filtro será de  $(\pi/4)(25\text{ m})^2 = 491\text{ m}^2$  y  $(491\text{ m}^2)(7.3\text{ m}) = 3,584.3\text{ m}^3$  respectivamente.

Por tanto el área de ventilación mínima recomendada, considerando 1 m<sup>2</sup> por cada 1000 m<sup>3</sup> de medio filtrante será de  $(1\text{ m}^2)(3.584) = 3.584\text{ m}^2$ . Por lo anterior, se observa que el área existente por filtro (3.44 m<sup>2</sup>), es menor a lo requerido como mínimo. Se recomienda utilizar el factor de 2 m<sup>2</sup> por cada mil m<sup>3</sup> de medio filtrante, lo que da como resultado la necesidad de un área de 7.17 m<sup>2</sup>.

Por tanto, es muy importante ampliar el área de ventilación existente y colocar otras 9 ventilas iguales a las existentes, intercaladas, así el área total de ventilación por filtro será de  $0.7 \times 0.615 \times 17 = 7.31 \text{ m}^2$  contra los  $3.44 \text{ m}^2$  de las 8 ventilas existentes, *obteniéndose* un poco más del doble de la ventilación actual con esta adecuación.

Es importante hacer notar que la recomendación del MOP-8 para la ventilación en filtros percoladores es para un agua residual doméstica, en el caso de la ciudad de Tecate, el afluente a la PTAR tiene importantes aportes industriales que le confieren una concentración mayor en carga orgánica, por lo que, sería favorable considerar un valor mayor a los  $7.31 \text{ m}^2$  en la ventilación de los filtros percoladores. En la práctica, los filtros percoladores se construyen con ventilación mayor al máximo indicado por el MOP-8.



Figura 9. Filtro percolador #1 donde se observa la poca ventilación



Figura 10. Ventilación en filtros percoladores de Chiapas y Sinaloa.

En cuanto a las alternativas:

Para la identificación, análisis y selección de la mejor alternativa, se toman como premisas el utilizar en lo posible la infraestructura disponible, el menor costo de inversión y el cumplimiento de la calidad de reúso considerada en el efluente.

Se enlistaron al inicio las alternativas generales que se discutieron en el grupo de trabajo, haciendo un análisis sencillo de cada una y debido a lo claro del objetivo planteado en este trabajo, de únicamente considerar optimizar del tratamiento biológico mediante un proceso dual, se desecharon rápidamente las no viables y se seleccionaron tres alternativas específicas que se desarrollaron a fin de elegir la mejor alternativa.

Los factores que se consideraron en la selección fueron:

- Cumplimiento de la calidad en el efluente
- Espacio disponible
- Costo de inversión
- Costo de operación

## 6.1 Alternativas generales

Durante la discusión para seleccionar las alternativas generales, se plantearon muchas opciones, pero dado que sólo se trabajó con el enfoque del mejoramiento del proceso biológico, la elección fue relativamente sencilla, considerando que la operación actual de esta planta da como ingreso a las alternativas un agua con bajo DBO y que se aprovecharían las instalaciones para reducir los costos de inversión.

En la siguiente tabla se enlistan las alternativas generales propuestas por el grupo:

ALTERNATIVA GENERAL	RESEÑA
<b>FILTRACION DEL EFLUENTE DE SEDIMENTADORES SECUNDARIOS</b>	Instalar filtro de arena a la salida de los sedimentadores secundarios existentes.
<b>FILTROS PERCOLADORES / TANQUE DE CONTACTO DE SÓLIDOS</b>	El efluente de los filtros percoladores existentes entra a un tanque de contacto de sólidos para después pasar por un proceso de eliminación de nitrógeno.
<b>FILTROS PERCOLADORES / LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL</b>	El efluente de los filtros percoladores existentes ingresa a una etapa de lodos activados convencional para después pasar por un proceso de eliminación de nitrógeno.
<b>FILTROS PERCOLADORES / LODOS ACTIVADOS DE AIREACION EXTENDIDA</b>	El efluente de los filtros percoladores existentes ingresa a una etapa de lodos activados de aireación extendida para después pasar por un proceso de eliminación de nitrógeno.

<b>FILTROS PERCOLADORES EN SERIE</b>	El efluente de los filtros percoladores existentes ingresa a otro filtro percolador donde se reducen el DBO y el nitrógeno.
--------------------------------------	---

Tabla 3 Alternativas generales.

A fin de analizar con mayor detalle las alternativas generales, se discutieron las ventajas y desventajas de cada una.

### **FILTRACION DEL EFLUENTE DE SEDIMENTADORES SECUNDARIOS**

Esta alternativa considera la opción de instalar filtros de arena para pulir el efluente de los sedimentadores secundarios.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación de sólidos suspendidos</li> <li>• Proceso económico en construcción y operación.</li> <li>• Rápida implementación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No están concebidos para eliminar materia orgánica soluble, sin embargo, la investigación nos dice que pueden reducir hasta el 20%.</li> </ul>

Debido a que la concentración del DBO es en ocasiones mayor a 75 mg/L y el nitrógeno se presenta por encima de 40 mg/L, con este proceso no se logra obtener un efluente con calidad de reúso.

### **FILTROS PERCOLADORES / TANQUE DE CONTACTO DE SÓLIDOS**

Esta alternativa considera un proceso dual, ingresando el efluente de los filtros percoladores existentes a un tanque de contacto de sólidos seguido de un proceso de eliminación de nitrógeno.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumple con la calidad de reúso en el efluente</li> <li>• Bajo costo de construcción y equipamiento.</li> <li>• Bajo consumo de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor capacidad de amortiguamiento de cargas</li> </ul>

### **FILTROS PERCOLADORES / LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL**

Esta alternativa considera un proceso dual, ingresando el efluente de los filtros percoladores existentes a una fase con lodos activados convencional seguido de un proceso de eliminación de nitrógeno.

### Ventajas

- Cumple con la calidad de reúso en el efluente
- Amortiguamiento de cargas

### Desventajas

- Medio-alto costo de construcción y equipamiento.
- Alto consumo de energía.

## FILTROS PERCOLADORES / LODOS ACTIVADOS DE AIREACIÓN EXTENDIDA

Esta alternativa considera un proceso dual, ingresando el efluente de los filtros percoladores existentes a una fase con lodos activados de aireación extendida seguido de un proceso de eliminación de nitrógeno.

### Ventajas

- Cumple con la calidad de reúso en el efluente
- Amortiguamiento de cargas

### Desventajas

- Muy alto costo de construcción y equipamiento.
- Alto consumo de energía.

Cumple con las necesidades pero los costos son muy altos y por las dimensiones esperadas de los tanques hay limitaciones de espacio dentro de la planta.

## FILTROS PERCOLADORES EN SERIE

Esta alternativa considera un proceso dual, ingresando el efluente de los filtros percoladores existentes a un tanque de contacto de sólidos seguido de un proceso de eliminación de nitrógeno.

### Ventajas

- Cumple con la calidad de reúso en el efluente
- Bajo costo de operación y mantenimiento
- Compatibilidad con proceso instalado
- Tecnología conocida
- No necesita instalación adicional para eliminar nitrógeno.

### Desventajas

- Limitada capacidad de amortiguamiento de cargas
- Se requiere mayor energía para el bombeo de transferencia.

## 6.2 Alternativas específicas

Como resultado del análisis de las ventajas y desventajas de las alternativas generales se realiza un cuadro comparativo para seleccionar las tres mejores que se consideraran como “alternativas específicas”.

Alternativa general	Efluente con calidad de reúso	Amortiguamiento de cargas	Costo de construcción	Costo de operación y mantenimiento
FILTRACION DEL EFLUENTE DE SEDIMENTADORES SECUNDARIOS	NO	sin amortiguamiento	Bajo	Muy bajo
FILTROS PERCOLADORES / TANQUE DE CONTACTO DE SÓLIDOS	SI	Bajo	Bajo	Bajo
FILTROS PERCOLADORES / LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL	SI	Medio-alto	Medio-alto	Medio
FILTROS PERCOLADORES / LODOS ACTIVADOS DE AIREACION EXTENDIDA	SI	Alto	Alto	Alto
FILTROS PERCOLADORES EN SERIE	SI	Bajo	Medio-alto	Bajo

Tabla 4 Comparativo de alternativas generales.

Utilizando como criterios de selección para las tres alternativas específicas; el costo de inversión, el efluente con calidad de reúso y el costo de operación y mantenimiento, se concluye que las mejores opciones de los sistemas duales analizados son:

- **Filtros percoladores – Tanque de contacto de sólidos**
- **Filtros percoladores – Lodos activados convencional**
- **Filtros percoladores en serie.**

## 7 Predimensionamiento de las tres alternativas seleccionadas

Para el predimensionamiento del diseño conceptual se consideró lo siguiente:

- Gasto promedio de 200 litros por segundo para todos los casos
- Cumplimiento con la NOM-003-SEMARNAT-1997, en el efluente
- Caracterización del agua disponible, con datos de la PTAR
- Aprovechamiento de las instalaciones actuales
- Terreno disponible

## **Alternativa A: Filtros percoladores – Tanque de contacto de sólidos.**

### ***Cálculos:***

Considerando los parámetros mencionados en la literatura, con el tiempo de retención para el reactor de contacto de sólidos y para el reactor para remoción de nitrógeno, se puede hacer un predimensionamiento ya que la carga orgánica que sale de los filtros percoladores es baja, con máximos de 75 mg/L y promedios del orden de 50 mg/L, así como de nitrógeno promedio de 30 mg/L.

Dimensionando un tanque de contacto de sólidos de 5 metros de profundidad y un tiempo de retención de 0.75 horas (MOP-8 1992, página 800). Considerando una relación tres a uno en largo – ancho, el tanque quedaría configurado de la siguiente manera:

$$Q = 200 \text{ L/s} = 0.2 \text{ m}^3/\text{s} = 0.2 \times 3600 = 720 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$V = Q_{tr} = 720 \times 0.75 = 540 \text{ m}^3$$

$$A = V/h; h = 5 \text{ m}$$

$$A = 540/5 = 108 \text{ m}^2$$

$$\text{Si } L: a = 3:1 \text{ } A = 3a^2 \text{ despejando: } a = (A/3)^{1/2} = (108/3)^{1/2} = 6 \text{ m}$$

Asimismo, se dimensiona el reactor para remoción de nitrógeno con un tiempo de retención de 1.5 horas (MOP-8 1992 pág. 952) que dará un tanque del doble al ya calculado.

Por tanto, el tanque de contacto de sólidos será de 6 m de ancho, 18 m de largo y 5 m de profundidad y el de remoción de nitrógeno de 12 m de ancho, 18m de largo y 5m de profundidad., se pueden construir con muros comunes, con dimensión total de 18 m x 18 m x 5 m y 0.5 m de bordo libre.

Se requiere un cárcamo de bombeo para elevar 200 L/s como gasto medio y 400 L/s como máximo hacia el tanque de contacto de sólidos y una caja de retorno del licor mezclado de este reactor hacia la alimentación existente a sedimentadores, así como un cárcamo de recirculación de lodos del sedimentador secundario hacia el tanque de contacto de sólidos. Como puede observarse en el diagrama que muestra el diseño conceptual de esta alternativa:

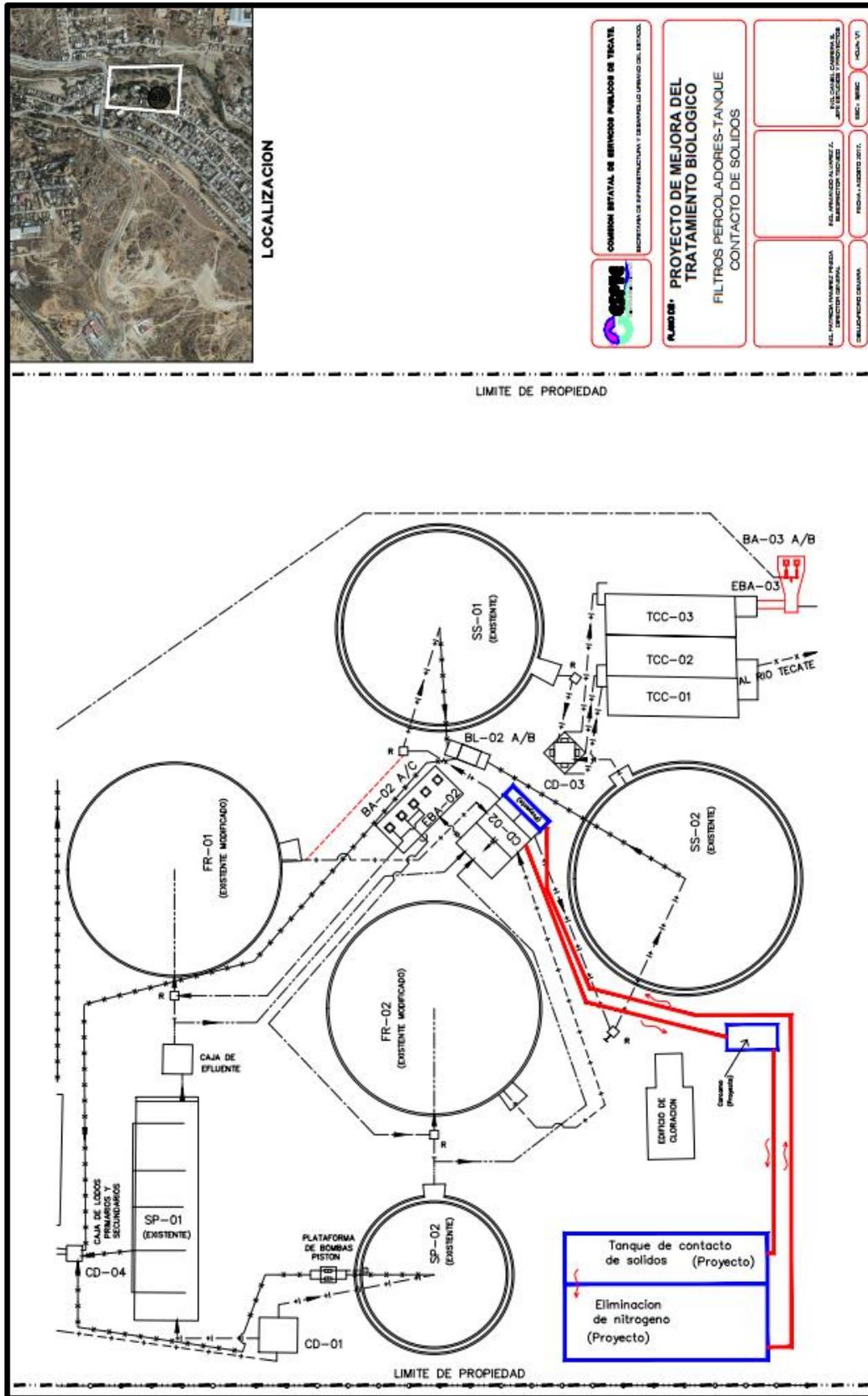


Figura 11 Esquema dual con tanque de contacto de sólidos

## **Alternativa filtros percoladores – Lodos activados convencional.**

### ***Cálculos:***

Considerando los parámetros mencionados en la literatura, con el tiempo de retención para el reactor de lodos activados convencional como parte de un proceso dual y para el reactor para remoción de nitrógeno, se puede hacer un predimensionamiento ya que la carga orgánica que sale de los filtros percoladores es baja, con máximos de 75 mg/L y promedios del orden de 50 mg/L, así como de nitrógeno promedio de 30 mg/L.

Dimensionando un reactor de lodos activados como proceso dual de 5 metros de profundidad y un tiempo de retención promedio de 2.25 horas (MOP-8 1992, página 800). Considerando una relación tres a uno en largo – ancho, el tanque quedaría configurado de la siguiente manera:

$$Q = 200 \text{ L/s} = 0.2 \text{ m}^3/\text{s} = 0.2 \times 3600 = 720 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$V = Q_{tr} = 720 \times 2.25 = 1620 \text{ m}^3$$

$$A = V/h; h = 5 \text{ m}$$

$$A = 1620/5 = 324 \text{ m}^2$$

$$\text{Si } L: a = 4:1 \text{ } A = 4a^2 \text{ despejando: } a = (A/4)^{1/2} = (324/4)^{1/2} = 9 \text{ m } L = 9 \times 4 = 36 \text{ m}$$

Asimismo, se dimensiona el reactor para remoción de nitrógeno con un tiempo de retención de 1.5 horas (MOP-8 1992 pág. 952) que dará un tanque similar a la alternativa anterior ya calculado.

Por tanto, el reactor de lodos activados como proceso dual será de 9 m de ancho, 36 m de largo y 5 m de profundidad y el de remoción de nitrógeno de 6 m de ancho, 36 m de largo y 5 m de profundidad., se pueden construir con muros comunes. Con dimensión total de 15 m x 36 m x 5 m más 0.5 m de bordo libre.

Se requiere un cárcamo de bombeo para elevar 200 L/s como gasto medio y 400 L/s como máximo hacia el reactor de lodos activados y una caja de retorno del licor mezclado de este reactor hacia la alimentación existente a sedimentadores, así como un cárcamo de recirculación de lodos del sedimentador secundario hacia el reactor. Como puede observarse en el diagrama que muestra el diseño conceptual de esta alternativa:

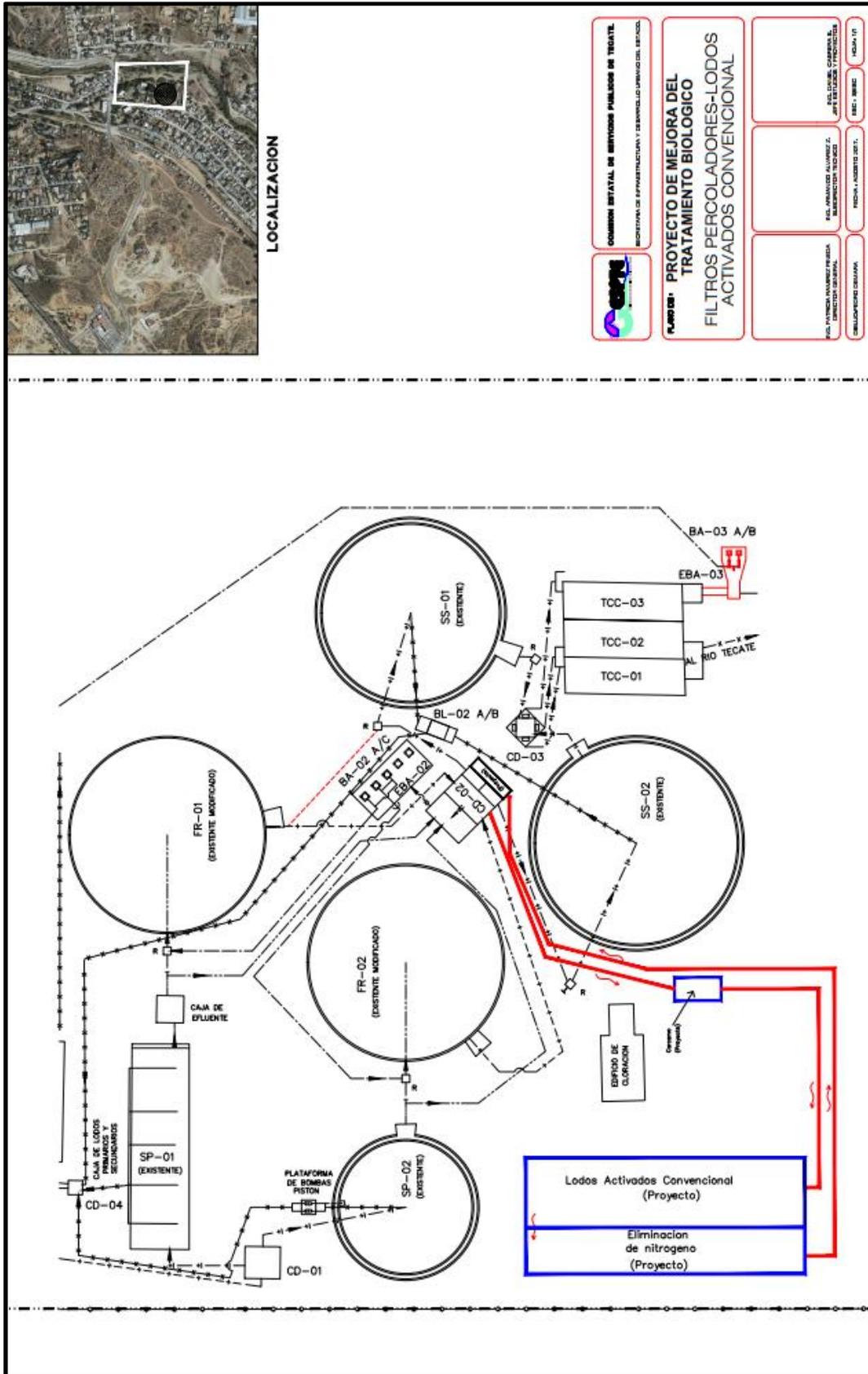


Figura 12 Esquema dual con lodos activados convencional

## Alternativa filtros percoladores en serie.

### ***Cálculos:***

Siguiendo la metodología del libro Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos de Oxidación Bioquímica con Biomasa Fija del MAPAS de la Conagua, en la remoción de nitrógeno por filtros percoladores y calculando el volumen de empaque mediante la fórmula de Germain, se predimensionó el filtro rociador para 200 L/s con el afluente con la calidad que se recibe de los dos filtros percoladores existentes.

El volumen de medio filtrante para la etapa carbonácea resultó de 1130 m<sup>3</sup> con el modelo en Excel, se calcula el volumen adicional de medio filtrante para la etapa de remoción de nitrógeno a continuación:

Concentración de nitrógeno inicial 30 mg/l = 30 g/m<sup>3</sup>

Concentración de nitrógeno final 15 mg/L = 15 g/m<sup>3</sup>

Gasto de 200 L/s = 17280 m<sup>3</sup>/d

T = 15 °C

$A_{esp.} = 100 \text{ m}^2/\text{m}^3 \times d$

$Tasa_r = 1.5 \text{ g}/\text{m}^2 \times d$

Remoción de 30 a 20 g/m<sup>3</sup>:

$(30-20) (17280) = 172,800 \text{ g}/d$

Área requerida de empaque =  $172800/1.5 = 115\,200 \text{ m}^2$

Volumen requerido de empaque para remover de 30 a 20 mg/L =  $115200/100 = 1152 \text{ m}^3$

Volumen requerido para continuar con la remoción de nitrógeno por cada miligramo reducido:

De 20 mg/L a 19 mg/l:

Ajuste de  $Tasa_r$ :  $Ta = Tasa_r (N / (Tasa_r + N))$  Dónde N = promedio de remoción

$N = (20 - 19) / 2 = 19.5 \text{ mg}/L$

$Ta = (1.5) / (19.5) / (1.5 + 19.5) = 1.39$

Remoción de 20 a 19 g/m<sup>3</sup>:

$(20-19) (17280) = 17280 \text{ g}/d$

Área requerida de empaque =  $17280/1.39 = 12431 \text{ m}^2$

Volumen requerido de empaque para remover de 20 a 19 mg/L =  $12431/100 = 124 \text{ m}^3$

Así se calcula para cada miligramo removido:

De 19 a 18 mg/L =  $125 \text{ m}^3$

De 18 a 17 mg/L =  $125 \text{ m}^3$

De 17 a 16 mg/L =  $126 \text{ m}^3$

De 16 a 15 mg/L =  $127 \text{ m}^3$

Cálculo del Volumen total del filtro:

Volumen para remoción carbonácea remanente =  $1130 \text{ m}^3$

Volumen para remoción de nitrógeno =  $1152 + 124 + 125 + 125 + 126 + 127 = 1779 \text{ m}^3$

Volumen total =  $1130 + 1779 = 2909 \text{ m}^3$

Para una profundidad de medio filtrante de 7 m (similar a filtros percoladores existentes)

Área del filtro =  $2909/7 = 415 \text{ m}^2$

$D = (4A/3.1416)^{1/2} = 23 \text{ m}$

El filtro resultó entonces de 23 m de diámetro por 7 m de altura de medio filtrante con área específica de  $100 \text{ m}^2/\text{m}^3 \times d$

Se requiere un cárcamo de bombeo para elevar 200 L/s como gasto medio y 400 L/s como máximo hacia el nuevo filtro percolador y un cárcamo de recirculación y a la vez de retorno de este reactor hacia la alimentación existente a sedimentadores, como puede observarse en el diagrama que muestra el diseño conceptual de esta alternativa:

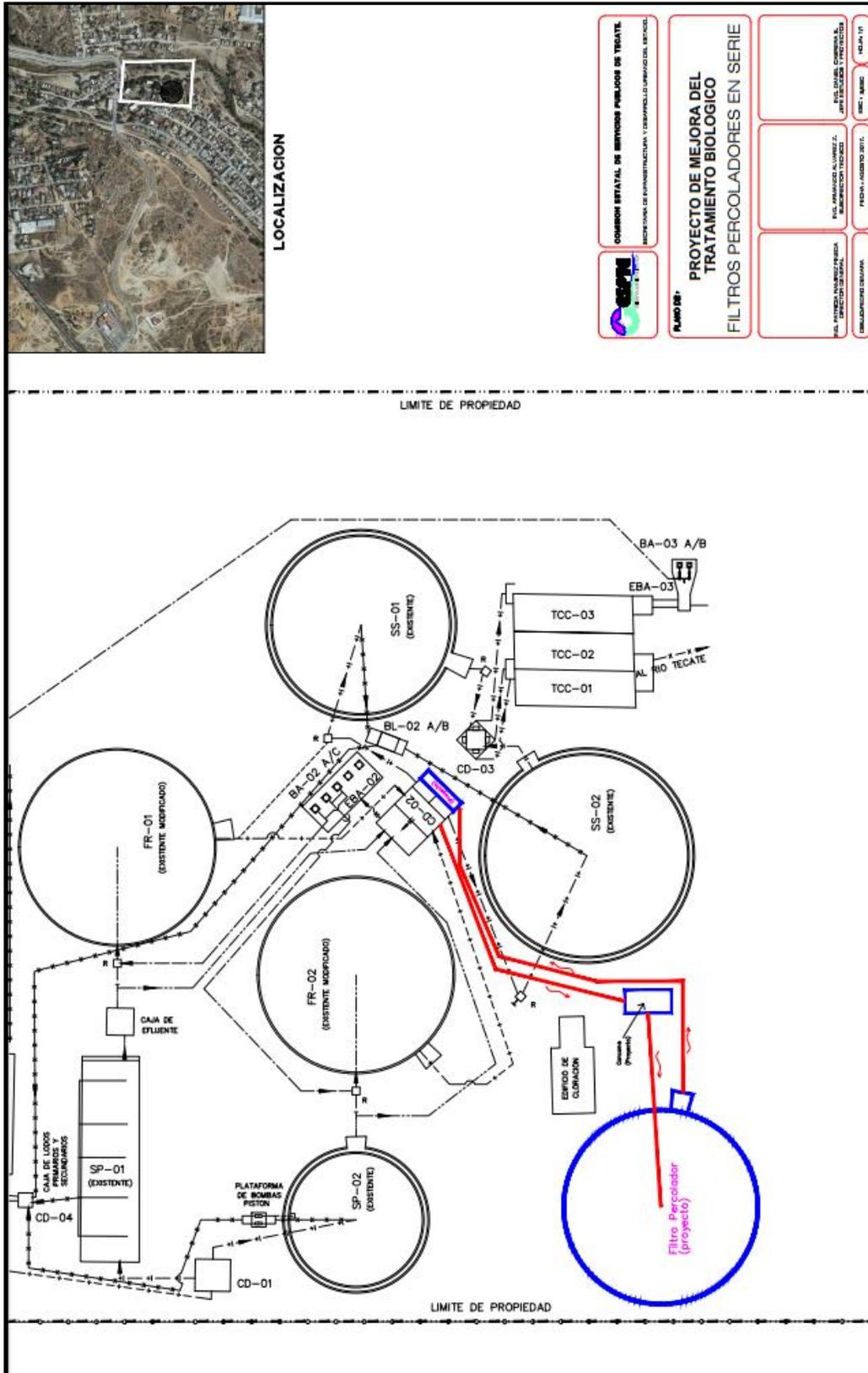


Figura 13 Esquema dual con filtros percoladores en serie.

## 8 Comparación de costos de alternativas

Para poder comparar los costos gruesos de las alternativas presentadas, se utilizó el Prontuario de Costos Índice editado por la CONAGUA, se obtuvieron los costos para el tratamiento de sistemas de lodos activados convencionales y para Filtro Biológico con el gasto de 200L/s y se actualizaron los costos al año 2017. El prontuario no incluye tanque de contacto de sólidos, por ser un proceso con tiempo de retención menor al lodo activado, se considera su costo en aproximadamente un 70% del lodo activado convencional.

Aplicando las fórmulas del prontuario:

Lodos activados convencionales Costo =  $1032.4 Q^{0.7633} = 58'915,000.00$

Factor de actualización 2.15 Costo = 126'667,000.00

Filtro Biológico Costo =  $319.6 Q^{0.964} = 52'820,000.00$

Factor de actualización 2.15 Costo = 113'563,000.00

Costo para cada alternativa:

Lodos activados Convencionales Costo aproximado = 127 millones de pesos

Tanque de contacto de sólidos Costo aproximado = 90 millones de pesos

Filtro Percolador o Filtro Biológico Costo aproximado = 114 millones de pesos

Por último, considerando que el costo sugerido en el prontuario es para toda la planta, se estima que el costo final para estas alternativas será un porcentaje del costo encontrado directamente, para este caso consideramos un 65% del costo total. Y observando los trenes de tratamiento propuestos, el lodo activado y el tanque de contacto de sólidos llevan remoción de nutrientes adicional, considerando un 15% adicional al costo, mientras que el filtro rociador lo lleva en el propio filtro, sin necesidad de tanque pero lleva un bombeo de transferencia y recirculación considerando un factor del 10% adicional al costo, además de un factor de incertidumbre del 25% para todos los casos. Por tanto el costo aproximado de implementar las alternativas será:

Lodos activados Convencionales Costo aproximado = 119 millones de pesos

Tanque de contacto de sólidos Costo aproximado = 84 millones de pesos

Filtro Percolador o Filtro Biológico Costo aproximado = 102 millones de pesos

## 9 Conclusiones y recomendaciones

Como parte inicial de los trabajos del grupo técnico para la elaboración de la propuesta del Diseño conceptual para la rehabilitación y/o adecuación del proceso biológico de la PTAR de Tecate, se revisó el área de ventilación requerida por los filtros percoladores existentes, encontrándose un déficit cercano al 100% del área de ventilación existente. Por tal condición se recomienda como medida de inmediata atención, que se tomen las acciones necesarias para complementar ese déficit, revisando previamente la posible afectación de la parte estructural de las paredes, causada por el aumento en el área de ventilación.

Referente a la metodología utilizada para abordar la mencionada propuesta, se procedió con: La identificación y análisis de alternativas con posibilidades de solución, enlistando **5 alternativas generales**, las cuales, mediante un análisis de ventajas y desventajas, se redujeron a **3 alternativas específicas**, que posteriormente se predimensionaron para elegir la considerada como mejor opción. En este caso, no fue necesario trabajar en la identificación del problema, ya que, desde la evaluación integral operativa realizada por el GEPTAR, en el año 2011, fue tema de discusión, aunque no existió recomendación concluyente, debido a que la información existente en ese tiempo era muy escasa.

Como resultado de la revisión y análisis del problema existente en el proceso biológico, se concluyó con la conveniencia de utilizar siempre un proceso dual, esto implica mantener los filtros existentes como primera fase del tratamiento propuesto, pero ya corregidos en cuanto a la ventilación requerida. La segunda fase del proceso dual seleccionado como alternativa final, consiste en construir un tanque de contacto de sólidos, conteniendo una etapa para eliminación de nitrógeno, de acuerdo con los costos aproximados que se estimaron para las tres alternativas, siendo esta la más baja, de manera preliminar.

Otra de las recomendaciones del grupo de trabajo, es hacer un estudio de tratabilidad del agua residual de la ciudad de Tecate. Estas pruebas se realizan simulando las condiciones reales para cada proceso; filtro percolador-tanque de contacto de sólidos, filtro percolador-lodo activado convencional y filtro percolador-filtro percolador.

Finalmente, es necesario señalar que el objetivo del presente trabajo es elaborar un documento que contenga, el diseño conceptual de la rehabilitación y/o adecuación del proceso biológico de la PTAR de Tecate, por lo que para llevar a cabo esta obra se requiere elaborar el correspondiente proyecto ejecutivo de la alternativa seleccionada y proceder a la gestión de los recursos financieros.

El Plan Estatal de Desarrollo 2014-2019, en unos de sus ejes rectores, establece lineamientos con el objetivo de promover el reúso de aguas residuales tratadas en todas sus vertientes, y en concordancia, la CESPTA ha sido permanente promotor de proyectos con este fin, actualmente se trabaja en uno, con capacidad para reusar 40 L/s.

## 10 Referencias

MOP-8, 1992. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. WEF Manual of Practice No. 8. Alexandria, VA. ASCE Manual and report on Engineering Practice No. 76.

EPA, 1992. (s.f.). Environmental Protection Agency "Guidelines for Water Reuse". EPA/628/R-92/004.

Glenn M. Tillman. (1992), Basic Mechanical Maintenance Procedures at Water and Wastewater Plants. ISBN 0-87371-428-8. Lewis Publisher, Inc.

Grady, C. P., & Lim, H. C. (1980). Biological Wastewater Treatment Theory and Applications. Marcel Dekker, New York.

Metcalf, & Eddy. (2003). Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th edition. McGraw Hill, New York. ISBN: 0-07-041878-0.

Ramírez González , A., Pozo Román , F., & Sandoval Yoal, L. (2007). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales por lagunas, lodos activados y filtros rociadores. Ed. IMTA.

# CURSO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA OPERADORES



COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE BAJA  
CALIFORNIA  
INSTITUTO ESTATAL DEL AGUA  
2017

## Programa de actividades

Lunes 26 Junio 2017		
Actividad	Responsable	Horario
Inscripciones	Quím. Jesús Meléndez M.	09:00 – 09:30
Inauguración	Autoridades CEA-IEA, BC	09:30 – 09:45
Presentación de participantes y objetivos del curso	M. I. Antonio Ramírez	09:45 – 10:15
Evaluación inicial	M. I. Antonio Ramírez	10:15 – 11:00
 RECESO		11:00 - 11:30
<b>Introducción al tratamiento de aguas residuales.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Contaminación del agua.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Tipos de contaminantes.</li> <li>● Vertido de aguas residuales.</li> <li>● Efectos sobre la salud.</li> <li>● Control de la contaminación.</li> </ul> </li> <li>○ Cantidad y calidad del agua.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Generalidades.</li> <li>● Alcantarillados.</li> <li>● Variaciones de caudal.</li> <li>● Parámetros de calidad del agua residual.</li> <li>● Análisis del agua residual.</li> <li>● Legislación.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	11:30 – 12:30
<b>Pretratamiento.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Rejillas.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Rejillas gruesas y desarenadores</li> <li>● Rejillas estáticas y móviles.</li> <li>● Cantidad y características de los sólidos removidos.</li> <li>● Problemas comunes y acciones correctivas.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	12:30 – 14:00
 COMIDA		14:00 – 15:00
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Desarenadores.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Tipos de desarenadores.</li> <li>● Cantidad de arenas.</li> <li>● Disposición de las arenas.</li> <li>● Problemas comunes y acciones correctivas</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	15:00 – 16:30
<b>Tratamiento primario.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Proceso de sedimentación.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Tipo de sedimentadores (rectangulares, circulares).</li> <li>● Mejoras en sedimentación.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	16:30 – 18:00

Martes 27 Junio 2017		
Actividad	Responsable	Horario
<b>Sistemas lagunares.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Introducción               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Clasificación de lagunas</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	09:00 – 10:00
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Descripción del proceso</li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	10:00 – 11:00
RECESO 		11:00 – 11:30
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Consideraciones de diseño</li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	11:30 – 12:30
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ O &amp; M de lagunas de estabilización</li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	12:30 – 14:00
COMIDA 		14:00 – 15:00
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ O &amp; M de lagunas aeradas</li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	15:00 – 17:00
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Problemas comunes y acciones correctivas.</li> <li>○ Medidas de seguridad</li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	17:00 – 18:00

Miércoles 28 Junio 2017		
Actividad	Responsable	Horario
<b>Lodos activados.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Conceptos básicos y variantes al proceso.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Descripción del proceso.</li> <li>● Variantes del proceso.</li> <li>● Factores relacionados con el proceso.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	09:00 – 11:00
RECESO 		11:00 – 11:30
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fundamentos y control de la operación.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoreo del proceso.</li> <li>● Control del proceso.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	11:30 – 14:00
COMIDA 		14:00 – 15:00
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Taller de cálculos</li> <li>● Problemas comunes y acciones correctivas.</li> <li>● Arranque de la planta.</li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	15:00 – 18:00

Jueves 29 de Junio 2017		
Actividad	Responsable	Horario
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Manual de operación y mantenimiento.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Registro de operación.</li> <li>● Mantenimiento.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	09:00 – 10:00
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Higiene y seguridad.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Programas.</li> <li>● Medidas de higiene.</li> <li>● Sustancias peligrosas.</li> <li>● Espacios confinados.</li> <li>● Medidas de protección.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	10:00 – 11:00
RECESO 		11:00 – 11:30
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Manejo de lodos residuales.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Introducción.</li> <li>● Tipo y características de lodos.</li> <li>● Tratamiento.</li> <li>● Problemas comunes y acciones correctivas.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	11:30 – 14:00
COMIDA 		14:00 – 15:00
<b>Filtros rociadores.</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Introducción.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Historia.</li> <li>● Clasificación de filtros rociadores.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	15:00 – 16:00
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Descripción de filtros rociadores.</li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	16:00 – 17:00
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Factores ambientales que afectan el funcionamiento.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Características del agua residual.</li> <li>● Temperatura.</li> <li>● Oxígeno disuelto.</li> <li>● Microbiología.</li> <li>● Grado de pretratamiento.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	17:00 – 18:00

Viernes 30 Junio 2017		
Actividad	Responsable	Horario
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Factores que influyen en la eficiencia.               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Medio filtrante.</li> <li>● Carga hidráulica y orgánica.</li> <li>● Ventilación.</li> <li>● Arreglo de los filtros.</li> <li>● Distribución del gasto y velocidad.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	09:00 – 11:00

 RECESO		11:00 – 11:30
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Operación del filtro <ul style="list-style-type: none"> <li>● Arranque y paro</li> <li>● Operación diaria.</li> <li>● Reportes.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	11:30 – 12:00
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mantenimiento. <ul style="list-style-type: none"> <li>● Brazos distribuidores.</li> <li>● Medio filtrante.</li> <li>● Drenaje.</li> <li>● Estructuras.</li> <li>● Bombas.</li> </ul> </li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	12:00 – 13:00
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Problemas comunes y acciones correctivas.</li> <li>○ Seguridad.</li> </ul>	M. I. Antonio Ramírez	13:00 – 14:00
COMIDA 		14:00 – 15:00
Taller de conclusiones	M. I. Antonio Ramírez	15:00 – 16:30
Evaluación final	M. I. Antonio Ramírez	16.30 – 17:30
Entrega de constancias y clausura	Autoridades CEA-IEA, BC	17:30 – 18:00



**CONTENIDO  
TEMÁTICO**

<b>1</b>	INTRODUCCION AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.
<b>2</b>	PRETRATAMIENTO.
<b>3</b>	TRATAMIENTO PRIMARIO.
<b>4</b>	SISTEMAS LAGUNARES.
<b>5</b>	LODOS ACTIVADOS.
<b>6</b>	FILTROS ROCIADORES.





# Índice

<b>1. INTRODUCCION AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. ....</b>	<b>43</b>
1.1 Contaminación del agua. 43	
1.1.1 Tipos de contaminantes. ....	43
1.1.2 Vertido de aguas residuales. ....	46
1.1.3 Efectos sobre la salud. ....	46
1.1.4 Control de la contaminación. ....	49
1.2 Cantidad y calidad del agua residual. 50	
1.2.1 Generalidades. ....	50
1.2.2 Sistemas colectores de aguas residuales (alcantarillados).....	52
1.2.3 Variaciones de caudal. ....	53
1.2.4 Parámetros de calidad del agua residual. ....	55
1.2.4.1 Características físicas. ....	55
1.2.4.2 Características químicas. ....	58
1.2.4.3 Características biológicas. ....	60
1.2.5 Análisis del agua residual. ....	62
1.2.5.1. Muestreo .....	62
1.2.5.2 Métodos de medición. ....	62
1.2.6 Legislación. ....	72
<b>2. Pretratamiento. ....</b>	<b>76</b>
2.1 Rejillas. 76	
2.1.1 Rejillas gruesas. ....	77
2.1.2 Rejillas. ....	77
2.1.3 Desmenuzadores.....	80
2.1.4 Rejillas estáticas. ....	81
2.1.5 Tambores giratorios.....	82
2.1.6 Ubicación. ....	82
2.1.7 Cantidad, calidad y manejo del material enrejillado. ....	83
2.1.8 Problemas comunes y acciones correctivas. ....	85
2.2 Medidores de flujo y desarenadores. 86	
2.2.1 Medidores de flujo. ....	86
2.2.1.1 Localización de los medidores de flujo.....	86
2.2.1.2 Métodos e instrumentos para la medición de flujo. ....	87
2.2.2. Desarenadores. ....	90
2.2.2.1 Localización. ....	90
2.2.2.2 Tipos de desarenadores.....	92
2.2.2.3 Colección y remoción. ....	98

2.2.2.4 Cantidad de arena.....	98
2.2.2.5 Disposición de la arena.....	98
2.2.3 <i>Problemas comunes y acciones correctivas en los desarenadores.</i> .....	99
<b>3. TRATAMIENTO PRIMARIO .....</b>	<b>102</b>
3.1 Proceso de sedimentación.	102
3.2 Tipos de sedimentadores.	105
3.2.1 <i>Sedimentadores primarios y secundarios</i> .....	105
3.2.2 <i>Sedimentadores rectangulares</i> .....	106
3.2.2.1 Rastra de cadenas.....	108
3.2.3 <i>Sedimentadores circulares</i> .....	109
3.2.5 <i>Puentes viajeros</i> .....	111
3.2.6 <i>Configuración del sistema</i> .....	112
3.3 Problemas comunes y acciones correctivas.	112
3.4 Parámetros de calidad del agua y características de los lodos crudos.	119
<b>4. SISTEMAS LAGUNARES. ....</b>	<b>122</b>
4.1. Introducción.	122
4.1.1. <i>Características</i> .....	123
4.1.2. <i>Clasificación de lagunas</i> .....	125
4.1.3 <i>Ventajas y desventajas</i> .....	126
4.2 Descripción del proceso.	127
4.3 Consideraciones en el diseño de lagunas que inciden en la operación y mantenimiento.	132
4.3.1 <i>Calidad del agua a tratar</i> .....	132
4.3.2 <i>Aspectos físicos</i> .....	133
4.3.2.1 Intensidad de la luz solar.....	134
4.3.2.2 Viento.....	135
4.3.2.3 Nubosidad.....	135
4.3.2.4 Precipitación pluvial.....	135
4.3.2.5 Infiltración y evaporación.....	135
4.3.2.6 Temperatura.....	136
4.3.3 <i>Aspectos químicos</i> .....	137
4.3.3.1 Material disuelto y suspendido.....	137
4.3.3.2 Oxígeno disuelto.....	137
4.3.3.3 Dióxido de carbono y pH.....	137
4.3.3.4 Nitrógeno.....	138
4.3.4 <i>Tipos de flujo</i> .....	139
4.4 Operación y mantenimiento de lagunas de estabilización.	139
4.5 Operación y mantenimiento de lagunas aeradas.	152
4.5.1 <i>Tiempo de retención</i> .....	152
4.5.2 <i>Oxígeno disuelto</i> .....	153

4.6 Actividades de operación, mantenimiento y muestreo de lagunas.	157
4.7 Evaluación de un sistema lagunar.	165
4.8 Registros y reportes	165
4.9 Medidas de seguridad.	168
<b>5. LODOS ACTIVADOS.....</b>	<b>169</b>
5.1 Introducción.	169
5.1.1 <i>Historia del proceso de lodos activados.</i>	173
5.1.2 <i>Lodos activados en México.</i>	173
5.2 Conceptos básicos y variantes al proceso.	177
5.2.1 <i>Descripción del proceso.</i>	177
5.2.1.1 Componentes del sistema de lodos activados.	177
5.2.2 <i>Variantes al proceso de lodos activados.</i>	178
5.2.2.1 Flujo pistón.....	178
5.2.2.2 Completamente mezclado.....	179
5.2.2.3 Estabilización – contacto.....	180
5.2.2.4 Aeración extendida. ....	181
5.2.2.5 Zanjas de oxidación. ....	182
5.2.2.6 Alimentación escalonada (a pasos). ....	183
5.2.2.7 Aeración reducida. ....	184
5.2.2.8 Oxígeno puro. ....	184
5.2.2.9 Proceso Kraus.....	185
5.2.3 <i>Factores relacionados con el proceso.</i>	186
5.2.3.1 Variaciones en el influente que afectan el proceso. ....	186
5.3 Sistemas de aeración.	192
5.3.1 <i>Equipos de aeración.</i>	192
5.3.1.1 Aeradores mecánicos.....	193
5.3.1.2 Aeración por difusión .....	200
5.3.1.3 Sopladores.....	208
5.4 Fundamentos y control de la operación.	211
5.4.1 <i>Monitoreo del proceso.</i>	211
5.4.1.1 Indicadores visuales.....	212
5.4.1.2 Indicadores analíticos .....	219
5.4.2 <i>Control del proceso.</i>	231
5.4.2.1 Índice volumétrico de lodos (IVL) .....	232
5.4.2.2 Cargas: orgánica y de sólidos suspendidos.....	233
5.4.2.3 Relación alimento/microorganismos (A/M.).....	233
5.4.2.4 Edad de lodos (tiempo medio de retención celular). ....	238
5.4.2.5 Control del gasto de recirculación. ....	241
5.4.2.6 Control de la purga.....	243
5.4.3 <i>Taller de cálculos.</i>	243
5.4.3.1 Cálculos con referencia de S. Ramalho. ....	245
5.4.3.2 Cálculos con referencia de Metclaf & Eddy.....	257
5.4.3.3 Índice volumétrico de lodos.....	269
5.4.3.4 Consumo de oxígeno .....	270

5.4.3.5 Nutrientes.....	274
5.4.3.6 Resumen de resultados.....	277
5.4.4 <i>Problemas comunes y acciones correctivas</i> .....	278
5.4.5 <i>Arranque de la planta</i> .....	280
5.5 Manual de operación y mantenimiento. 286	
5.5.1 <i>Registros de operación</i> .....	286
5.5.1.1 Registros físicos.....	286
5.5.1.2 Registros de desempeño.....	286
5.5.1.3 Ejemplos de registros.....	287
5.5.2 <i>Mantenimiento</i> .....	295
5.5.2.1 Calendarización de actividades.....	296
5.5.2.2 Mantenimiento preventivo (procedimientos de rutina).....	296
5.5.2.3 Herramientas.....	297
5.5.2.4 Procedimientos especiales.....	297
5.5.2.5 Registro de información.....	298
5.5.2.6 Manejo de partes de repuesto.....	298
5.5.3 <i>Ejemplo de programa de mantenimiento</i> .....	299
5.6 Higiene y seguridad. 304	
5.6.1 <i>Programas</i> .....	304
5.6.2 <i>Medidas de higiene</i> .....	305
5.6.3 <i>Sustancias peligrosas</i> .....	306
5.6.4 <i>Espacios confinados</i> .....	307
5.6.5 <i>Medidas de protección</i> .....	308
5.7 Manejo de lodos residuales. 308	
5.7.1 <i>Introducción</i> .....	309
5.7.2 <i>Tipos y características de los lodos residuales</i> .....	309
5.7.2.1 Características físicas.....	311
5.7.2.2 Características químicas.....	312
5.7.2.3 Características microbiológicas.....	315
5.7.3 <i>Normatividad sobre lodos residuales</i> .....	317
5.7.4 <i>Tratamiento de lodos residuales</i> .....	320
5.7.4.1 Espesamiento y deshidratación de lodos.....	321
5.7.4.2 Estabilización.....	329
<b>6. FILTROS ROCIADORES.....</b>	<b>343</b>
6.1 Introducción. 343	
6.1.1 <i>Antecedentes históricos</i> .....	343
6.1.2 <i>Clasificación de los filtros rociadores</i> .....	344
6.1.2.1 Descripción de los diversos tipos de filtros.....	345
6.1.3 <i>Parámetros de diseño para filtros rociadores</i> .....	349
6.2 Descripción de los filtros rociadores. 350	



6.2.1 Elementos de un filtro rociador.....	352
6.2.1.1 Medio filtrante.....	353
6.2.1.2 Sistema de drenaje.....	356
6.2.1.3 La película de lama microbiana.....	357
6.3 Parámetros para evaluación del proceso. 359	
6.3.1 Parámetros de control.....	360
6.4 Factores ambientales que afectan el funcionamiento. 364	
6.4.1 Características de las aguas residuales.....	365
6.4.1.1 Variación de aguas residuales.....	366
6.4.1.2 PH y alcalinidad.....	366
6.4.1.3 Toxicidad.....	367
6.4.1.4 Nutrientes.....	367
6.4.2 Temperatura.....	370
6.4.3 Oxígeno disuelto.....	370
6.4.3 Microbiología.....	371
6.4.4 Grado de pretratamiento.....	372
6.5 Factores que influyen en la eficiencia. 376	
6.5.1 Medio filtrante y profundidad.....	376
6.5.2 Carga hidráulica.....	377
6.5.3 Carga orgánica.....	377
6.5.4 Ventilación.....	378
6.5.5 Arreglo de los filtros.....	379
6.5.6 Distribución del gasto.....	380
6.6 Operación del filtro. 380	
6.7 Mantenimiento y seguridad. 392	
6.7.1 Mantenimiento.....	392
6.7.2 Importancia de un programa de mantenimiento.....	393
6.7.3 Clases de mantenimiento.....	394
6.7.3.1 Mantenimiento Preventivo.....	394
6.7.3.2 Mantenimiento Correctivo.....	394
6.7.4 Componentes de un programa de mantenimiento.....	395
6.7.5 Formas de control.....	395
6.7.5.1 Programa de mantenimiento preventivo.....	396
6.7.5.2 Planeación del mantenimiento del filtro.....	397
6.7.6 Seguridad en la planta.....	401
6.7.6.1 Recomendaciones de seguridad.....	402
6.8 Problemas comunes y acciones correctivas. 403	
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>411</b>



## 11 INTRODUCCION AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

### 11.1 1.1 Contaminación del agua.

Todas las aguas naturales contienen varios contaminantes que provienen de la erosión, la lixiviación y los procesos de la intemperie. A esta contaminación natural, se agrega aquella causada por aguas residuales de origen doméstico o industrial, que se pueden disponer de varias maneras, por ejemplo, en el mar, en la tierra, en estratos subterráneos o, más comúnmente en aguas superficiales.

Cualquier cuerpo de agua es capaz de asimilar cierta cantidad de contaminación sin efectos serios, debido a los factores de dilución y autopurificación que están presentes. Si hay contaminación adicional, se altera la naturaleza del agua receptora y deja de ser adecuada para sus diferentes usos. Así, es de gran importancia comprender los efectos de la contaminación y conocer las medidas de control disponibles para el manejo eficiente de los recursos hidráulicos.

#### 11.1.1 1.1.1 Tipos de contaminantes.

Los contaminantes se comportan de diferentes maneras cuando se agregan al agua clasificándose como conservativos y no conservativos. Estos últimos incluyen a la mayoría de las sustancias orgánicas, algunas sustancias inorgánicas y muchos microorganismos que se degradan por los procesos naturales de autopurificación, de modo que sus concentraciones se reducen con el tiempo. El tiempo de descomposición de estos materiales depende de cada contaminante en particular, de la calidad del agua receptora, de la temperatura y de otros factores ambientales. Los procesos naturales no afectan a muchas sustancias inorgánicas, por lo que las concentraciones de los contaminantes conservativos sólo se pueden reducir por dilución. Por lo regular los procesos naturales o de tratamiento de aguas no afectan a los contaminantes conservativos, y su presencia en una fuente de agua limita su uso.

Los contaminantes que afectan la calidad del agua también se conocen como contaminantes potenciales y se dividen de siguiente forma:

A. *Compuestos infecciosos y tóxicos.* Esta categoría incluye una amplia variedad de sustancias que han demostrado tener un impacto negativo en el ser humano al estar presentes en el agua para beber, utilizando a ésta como vehículo de transporte. Las bacterias son las representativas de compuestos infecciosos relacionándolas con grandes epidemias, también se encuentran los virus, gusanos y otros organismos patógenos.

B. *Materiales que afectan el balance de oxígeno en el agua.* 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.

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 así como algunos parámetros ambientales. La presencia en exceso de organismos y/o materiales pueden causar el agotamiento del oxígeno disuelto y la muerte de todos los organismos vivos (incluyendo a los peces). Además, la ausencia de oxígeno disuelto afecta el crecimiento de los microorganismos produciendo subproductos causantes de olores desagradables.

El agotamiento del OD en las corrientes ha recibido especial atención en los estándares de calidad. Por ésta razón la prueba de la DBO es una medida para evaluar las características orgánicas de las descargas de aguas residuales; este método es práctico y directo para medir el consumo de oxígeno durante la estabilización bioquímica de la materia orgánica. Otro tipo de sustancias que entorpecen la transferencia de oxígeno a través de la interfase aire-agua son las grasas y aceites, ya que forman películas protectoras en la interfase, reduciendo la transferencia de oxígeno y amplificando los efectos de sustancias que consumen este elemento.

C. *Compuestos orgánicos persistentes.* Estos compuestos no se descomponen a través de la acción biológica, por lo que pueden permanecer indefinidamente. Ya que la naturaleza no puede eliminarlos por sí misma, éstos se acumulan alcanzando concentraciones peligrosas para el medio acuático y teniendo un gran impacto en la salud.

Un ejemplo de estas sustancias son los pesticidas resistentes al ataque bioquímico que pueden generar problemas crónicos o agudos en la salud.

D. *Nutrientes.* Los microorganismos requieren condiciones favorables para su crecimiento y reproducción. Estos elementos incluyen carbón, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, azufre y algunos otros, presentes en cantidades trazas. Cuando alguno de ellos no existe, el crecimiento y reproducción se afectan.

El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes más importantes en el contexto de la eutroficación y ya que algunas algas pueden fijar el nitrógeno atmosférico, se acepta generalmente que el fósforo es el nutriente limitante en el agua. Los fosfatos existen en los efluentes de agua residual, debido en parte a las excretas humanas y en parte al uso de detergentes sintéticos.

*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. Teniendo de esta forma, una gran influencia en el balance ecológico de los cuerpos de agua.

Los sólidos suspendidos sedimentan con facilidad y se acumulan en el fondo de los ríos o en depósitos creados con ese fin. Si el contenido de materia orgánica es alto, la descomposición de los lodos puede generar olor, pero el efecto de mayor interés es la reducción de la capacidad de los cuerpos de agua debido a estas acumulaciones ya que promueven la muerte de los peces al obstruir sus agallas y destruyen la vida en el fondo del cuerpo 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.

*F. Temperatura.* La temperatura es el principal ejemplo de la complejidad del agua ya que su efecto puede ser dañino o benéfico dependiendo de las circunstancias. El mayor impacto del incremento de la temperatura en las corrientes es que abate el valor de la fuente para usos posteriores.

El valor de la  $DBO_5$  se incrementa sustancialmente con el aumento en la temperatura, porque la rapidez de la reacción bioquímica en la corriente se acelera con el incremento de la temperatura.

Al aumentar la actividad microbiana, se reduce el OD disponible del sistema. Además, la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura, por lo tanto la “reaeración” del agua es más ineficiente.

Por otro lado, al aumentar la temperatura de la corriente, se acelera la muerte de algunas especies.

### **11.1.2 1.1.2 Vertido de aguas residuales.**

Como se mencionó, los efluentes líquidos pueden disponerse 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.

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

La introducción de cantidades excesivas de residuos en una corriente de agua, puede alterar el ciclo al promover un rápido crecimiento bacteriano, que puede producir una disminución OD en el agua. Las aguas contaminadas se caracterizan por tener una gran cantidad de un número reducido de especies. Al estabilizarse el exceso de materia orgánica, se restablece el ciclo normal según un proceso conocido como autodepuración.

A menudo, las normas de calidad del agua se establecen de manera que se puede mantener una concentración mínima de OD tal, que sea capaz de proteger el ciclo natural en los cursos de agua, aprovechando se capacidad de asimilación natural.

Son varios los factores que intervienen en el proceso de autodepuración de los cursos de aguas, como dilución, corrientes, sedimentación, formación de depósitos de lodo y escurrimientos, luz solar y temperatura.

### **11.1.3 1.1.3 Efectos sobre la salud.**

Dado el papel que juega el agua en el desarrollo de la vida, cuando está contaminada, se convierte en un medio con gran potencial para transmitir una amplia variedad de males y enfermedades.

En el mundo desarrollado las enfermedades hídricas son raras, lo que se debe esencialmente a la presencia de sistemas eficientes de abastecimiento de agua y eliminación del agua residual. Sin embargo, en el mundo en vías de desarrollo, cerca de 2,000 millones de personas no cuentan con abastecimiento de agua seguro y saneamiento adecuado. Como resultado, las enfermedades hídricas en estas áreas alcanzan cifras alarmantes.

La Tabla 1.1 muestra algunas de las enfermedades infecciosas, en cuya incidencia puede influir el agua. La causa de estas enfermedades puede tener su origen en bacterias, protozoarios o gusanos. Su control y detención tiene como fundamento la naturaleza del agente causante, aunque es más útil toma en consideración los aspectos relacionados con el agua en la diseminación de la infección.

Tabla 1.1 Principales enfermedades relacionadas con el agua.

Enfermedad	Tipo de relación con el agua
<p>Cólera</p> <p>Hepatitis infecciosa</p> <p>Leptospirosis</p> <p>Paratifoidea</p> <p>Tularemia</p> <p>Tifoidea</p>	<p>Transmitidas por el agua</p>
<p>Disentería amibiana</p> <p>Disentería bacilar</p> <p>Gastroenteritis</p>	<p>Por el agua o por el agua para aseo personal</p>
<p>Ascariasis</p> <p>Conjuntivitis</p> <p>Enfermedades diarreicas</p> <p>Lepra</p> <p>Sarna</p> <p>Sepsis y úlcera de la piel</p> <p>Tiña</p> <p>Tracoma</p>	<p>En el agua para aseo</p>
<p>Gusano de Guinea</p> <p>Esquistosomiasis</p>	<p>Desarrollados en el agua</p>
<p>Paludismo</p> <p>Oncocercosis</p> <p>Enfermedad del sueño</p> <p>Fiebre amarilla</p>	<p>Insectos vectores relacionados</p>

#### 11.1.4 1.1.4 Control de la contaminación.

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

Cuando se establecen métodos para el control de la contaminación del agua, los patrones se pueden basar ya sea en la calidad requerida en el agua receptora (enfoque de objetivos de calidad del río) o bien pueden aplicarse directamente al efluente sin referencia al agua receptora (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 puede enfrentar un estándar 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.

Según estudios realizados por la Royal Commission on Sewage Disposal, se sugirió que una DBO de 4 mg/L en un curso de agua era un límite que, si era excedido, indicaría un grado significativo de contaminación.

Es importante considerar que, además de las descargas de efluentes de agua residual, hay contaminación considerable de fuentes no puntuales que son difíciles o imposibles de controlar.

Estas fuentes sin origen fijo que contaminan el ambiente son esencialmente descarga de escurrimiento directo superficial de las áreas urbanas, donde los contaminantes incluyen aceite y compuestos de caucho de la superficie de carreteras, y de áreas rurales, donde es probable que los principales contaminantes sean nutrientes inorgánicos. Los derrames sin control de

agua de lluvia en los alcantarillados combinados, se incluyen en la categoría de contaminación no puntual. Cuando se practica un control eficiente de las fuentes puntuales, las fuentes no puntuales pueden tener una contribución significativa en la contaminación; es vital que cuando se preparen políticas de control de la contaminación se tenga muy en cuenta esta contribución, ya que de otra manera se pueden sobreestimar los resultados de la política para el control del medio ambiente.

## **11.2 1.2 Cantidad y calidad del agua residual.**

### **11.2.1 1.2.1 Generalidades.**

El requerimiento fisiológico básico de agua de una persona es de 2.5 L/día, aunque la carga de trabajo y las condiciones climáticas pueden aumentar bastante esta cantidad, principalmente debido a la necesidad de restituir el agua perdida por la transpiración. Además de los requerimientos fisiológicos, el hombre necesita del agua para prácticamente todas sus actividades y para su manutención.

Esto abarca el aseo personal y de su vivienda, la producción de alimentos, los procesos de transformación, la generación de energía por citar algunos de los más frecuentes. A medida que el nivel de vida mejora, aumenta el uso del agua, tanto a nivel individual, como al social y productivo. Esto ocasiona que exista una gran demanda del recurso hidráulico, que no siempre es fácil satisfacer por no estar disponible.

Si la distribución de los recursos hidráulicos a nivel nacional fuera uniforme, cada mexicano contaría con un volumen de 5,200 m<sup>3</sup>/año aproximadamente. Sin embargo, ni la ocurrencia del recurso, ni los patrones de distribución poblacional son homogéneos, en consecuencia, la disponibilidad per cápita tampoco lo es.

En las regiones de menor disponibilidad y mayor población, la cantidad de agua por persona oscila entre 211 y 1,478 m<sup>3</sup> por año, mientras que en las regiones de mayor disponibilidad y menor población el volumen por persona por año fluctúa entre 14,445 y 33,285 m<sup>3</sup>.

En todo el país se extraen actualmente más de 185 millones de metros cúbicos por año de aguas superficiales y subterráneas. El 61% se utiliza en la generación de energía hidroeléctrica, el 30% para riego, el 5% para la industria y el 4% restante para el suministro de agua potable a las poblaciones.

La generación de energía eléctrica prácticamente no consume agua, es decir,  $121 \times 10^8 \text{ m}^3$  regresan a los cuerpos de agua sin carga contaminante. La cantidad de agua que no retorna a las corrientes, es de  $53 \times 10^8 \text{ m}^3$ . De acuerdo con este balance, la generación de aguas residuales es de  $20 \times 10^8 \text{ m}^3$  aproximadamente y su origen es agrícola, industrial y doméstico.

Las aguas de retorno agrícola -fuentes no puntuales de contaminación- pueden controlarse mediante la optimización del riego y de la aplicación de agroquímicos, es decir minimizar o evitar la generación de estas aguas; pero una vez generadas, su tratamiento no es factible económicamente. Las aguas residuales industriales y domésticas, son fácilmente captadas y conducidas a las instalaciones de tratamiento.

En climas templados, casi todo el abastecimiento doméstico de agua y gran parte del abastecimiento industrial regresan al alcantarillado, de modo que el caudal de estiaje (c.e.) de agua residual es de la misma magnitud que el caudal del agua abastecida en el área. En climas cálidos, una parte del agua se usa para el riego de jardines o se pierde por evaporación y sólo regresa al alcantarillado de un 70 a un 80% del agua surtida.

Las plantas de tratamiento y sus sistemas asociados de recolección y distribución son elementos costosos que por lo regular se diseñan para tener una vida útil de 30 años o más. Por esta razón y para asegurar el desarrollo y utilización eficientes de los recursos hidráulicos, es necesario tener la capacidad de predecir las demandas futuras de agua.

El consumo doméstico de aguas es el producto de la demanda *per cápita* por el total de habitantes. La dotación teórica de agua en México (tabla 1.2) es la que aparece en la Norma Mexicana de Dotación de Aguas (1969) y depende del tamaño de la comunidad y las condiciones ambientales.

Tabla 1.2 Dotación de aguas para las comunidades.

Población (Habitantes)	Tipo de clima		
	Cálido (L/hab.d.)	Templado (L/hab.d.)	Frío (L/hab.d.)
2,500 – 15,000	150	125	100
15,001 – 30,000	200	150	125
30,001 – 70,000	250	200	175
70,001 – 150,000	300	250	200
150,000 en adelante	350	300	250

La tabla 1.3 muestra el consumo y los usos que se da al agua a nivel doméstico. El abastecimiento de agua a nivel internacional varía entre 50 y 900 L/hab. d.

Tabla 1.3 Usos típicos del agua doméstica en Gran Bretaña.

Uso	Consumo L/persona. día
Descarga del retrete	32
Beber, cocinar y lavar trastos	33
Baños y duchas	40
Lavado de ropa	12
Riego del jardín	1
Lavado del automóvil	1
<b>Total</b>	<b>119</b>

### 11.2.2 1.2.2 Sistemas colectores de aguas residuales (alcantarillados).

Los sistemas de drenaje juegan un papel importante para determinar las características y el volumen del agua residual. En los sistemas viejos, los tubos dañados y las juntas fracturadas ocasionan la pérdida de agua residual en el suelo circundante o también, la infiltración del agua subterránea que aumenta el gasto de agua residual. En las comunidades más antiguas se cuenta con drenaje combinado que transporta tanto el agua residual doméstica o industrial,

junto con el escurrimiento directo del agua de lluvia que cae en las áreas pavimentadas y techos. Aún con lluvias moderadas, el escurrimiento directo de agua superficial es mayor que el c.e. de un área construida y sería necesario que las alcantarillas fueran injustificadamente grandes desde el punto de vista económico para poder captar todo el gasto. Es por esto que se acostumbra instalar vertederos de tormenta que desvían a curso cercano los gastos en exceso de 6, 9 y, en ocasiones, hasta 12 veces el c.e. Otro problema asociado con los drenajes combinados es la necesidad de conservar una velocidad mínima de autolimpieza para gastos bajos y evitar velocidades excesivas cuando el alcantarillado está lleno. Debe mencionarse que en las zonas tropicales, depósitos orgánicos se transforman rápidamente en anaerobios, la producción de sulfuro de hidrógeno resultante, puede causar serios daños al sistema de drenaje.

Debido a las desventajas de los drenajes combinados, la mayoría de los nuevos fraccionamientos tienen un sistema de desagüe formado por el drenaje sanitario, relativamente pequeño y cuyo contenido total se trata; y el drenaje para el agua de lluvia que lleva únicamente el escurrimiento directo, relativamente limpio y que puede descargarse con seguridad en las corrientes de agua locales. El costo de un sistema separado es inevitablemente alto en comparación con un sistema combinado, aunque en muchos casos se pueden tender las dos tuberías en la misma excavación, cuando menos en parte de su longitud.

### 11.2.3 1.2.3 Variaciones de caudal.

El flujo de agua residual varía a lo largo del día, de la semana y del año de acuerdo con las modificaciones en el patrón de consumo de agua, de la infiltración y de los afluentes. La variación tiende a incrementarse con el deterioro de los sistemas de alcantarillado. La relación del flujo promedio pico con el flujo promedio anual varía de 10:1 para sistemas que sirven a poblaciones mayores de 10,000 habitantes, y de 20:1 para sistemas pequeños en los cuales el agua residual doméstica es el principal componente del flujo total.

Harmon estableció una ecuación para calcular el flujo medio, mínimo y máximo de alcantarillados domésticos, en función del número de habitantes servidos.

$$H = 1 + \frac{14}{\sqrt{P}}$$

Donde:

H= Coeficiente de Harmon.

P= Población en miles.

$P \leq 200$

Estas variaciones son ciertas para flujos provenientes de fuentes como escuelas regionales o edificios departamentales, donde no hay flujo por las noches. En las variaciones de flujo, generalmente, se observa que el efluente más pequeño ocurre entre 2 a.m. y 6 a.m., y los picos se tienen a las 9 a.m. y 6 p.m. (Fig. 1.1). La amplitud y tiempo de los picos o depresiones

se relaciona directamente con el estilo de vida de la población servida. Estas variaciones ocurren tanto en los sistemas combinados como en los separados.

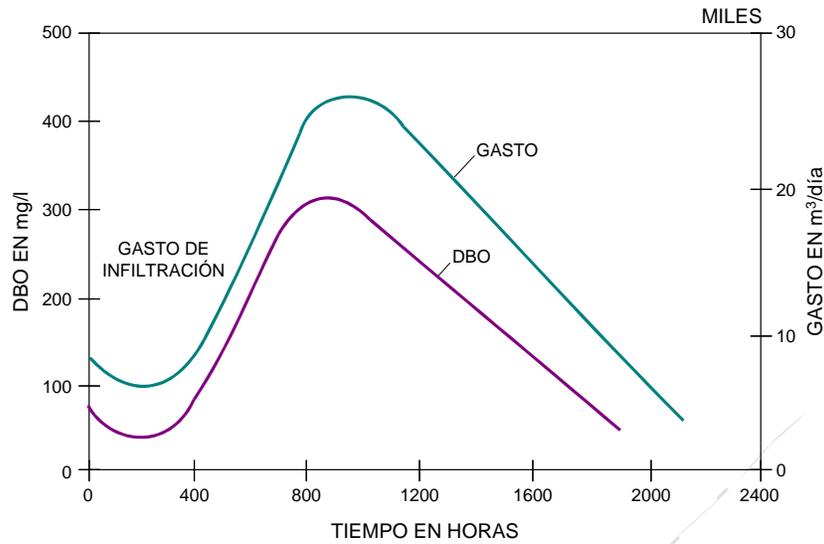


Fig. 1.1 Variaciones típicas de gasto y carga en plantas pequeñas y medianas.

Debe esperarse que los efectos del escurrimiento directo superficial aumenten los gastos pico en los sistemas combinados y en los sistemas separados, ya que la lluvia puede ingresar en el drenaje sanitario mediante conexiones clandestinas y por pequeñas áreas de superficie impermeable.

La figura 1.2 muestra la distribución del consumo de agua doméstica en México.



Fig. 1.2 Distribución del consumo de agua doméstica.

El comportamiento de los efluentes comerciales e institucionales es más uniforme que el de las casas, las cuales presentan un comportamiento variable.

El efecto de los efluentes industriales en las variaciones diarias depende del tipo de proceso empleado y de la descarga involucrada. Frecuentemente, las descargas industriales son controladas por lo que pueden tener un efecto regulador en el flujo total.

Las variaciones semanales son generadas por fuentes comerciales, industriales o recreativas. Los efluentes domésticos generalmente no varían a lo largo de la semana.

El flujo de los comercios e industrias tiende a ser uniforme a lo largo del año, sin embargo, hay variaciones estacionales causadas por industrias, instituciones o actividades recreativas que sólo operan en determinado tiempo en el año y sus descargas cambian el flujo.

En las plantas de tratamiento de agua residual, el flujo que llega a las instalaciones puede ser regulado hasta cierto punto dentro del sistema de drenaje, pero se debe diseñar la planta para operar con gastos fluctuantes, con una capacidad máxima normal en las unidades principales de 3 veces el c.e.

En caso de que las variaciones en composición o en volumen sean significativas (principalmente para aguas residuales industriales), es conveniente contar con tanques de homogenización, los cuales permiten en cierta medida, controlar los volúmenes y amortiguar las variaciones del contenido de materia en el agua.

#### **11.2.4 1.2.4 Parámetros de calidad del agua residual.**

Aunque se considera al agua como H<sub>2</sub>O, todas las aguas naturales contienen sustancias disueltas en concentraciones que fluctúan de unos cuantos miligramos por litro como en el agua de lluvia, a cerca de 35,000 mg/L, como en el agua de mar. Por lo general, las aguas residuales contienen la mayoría de los constituyentes del agua suministrada, más las impurezas adicionales provenientes del proceso productor de desechos.

##### *11.2.4.1 1.2.4.1 Características físicas.*

Las principales consideraciones para establecer la calidad del agua se basan más en las características físicas que en las químicas y biológicas. De esta forma se desea un agua incolora, insípida e inodora. Las propiedades físicas más comúnmente empleadas para determinar las impurezas en el agua y en el agua residual se muestran en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Análisis físicos empleados para determinar las impurezas en el agua residual.

Prueba	Abreviación	Uso
Turbiedad	UTN	Para asegurar la claridad del agua
Sólidos		
Sólidos totales	ST	Para asegurar el reúso potencial de un agua residual y para determinar los procesos empleados para su tratamiento; la prueba de SDT prevé la disponibilidad de una fuente de agua para uso público, industrial y agrícola.
Sólidos totales volátiles	STV	
Sólidos suspendidos fijos	SSF	
Sólidos suspendidos totales (ST – SS)	SDT	
Sólidos sedimentables	SSe	Para determinar los sólidos que pueden sedimentar en un tiempo específico; los valores de la prueba se usan para facilitar el diseño de los sedimentadores.
Color	Varios tonos de amarillo, café, gris, negro	Para determinar la presencia de agentes colorantes sintéticos y naturales en el agua.  Define la condición del agua residual (fresca o séptica)
Olor	LMCO*	Determina si el nivel de olor puede ser un problema.
Temperatura	° C	Para determinar los procesos de tratamiento; determina la concentración de saturación de gases.

\*LMCO Límite mínimo de la concentración de olor detectado.

Fuente: Alternativas de tratamiento de aguas residuales. IMTA. 3ª.edición. 2000.

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 que se miden al filtrar una muestra a través de un papel filtro de 1.2 µm de diámetro efectivo. Los sólidos sedimentables son aquellos que por efecto de la gravedad se depositan en el fondo de un recipiente (cono Imhoff) al cabo de 1 h. Se determinan como la diferencia entre los SS en el sobrenadante y los SS originales en la muestra (Fig. 1.3).

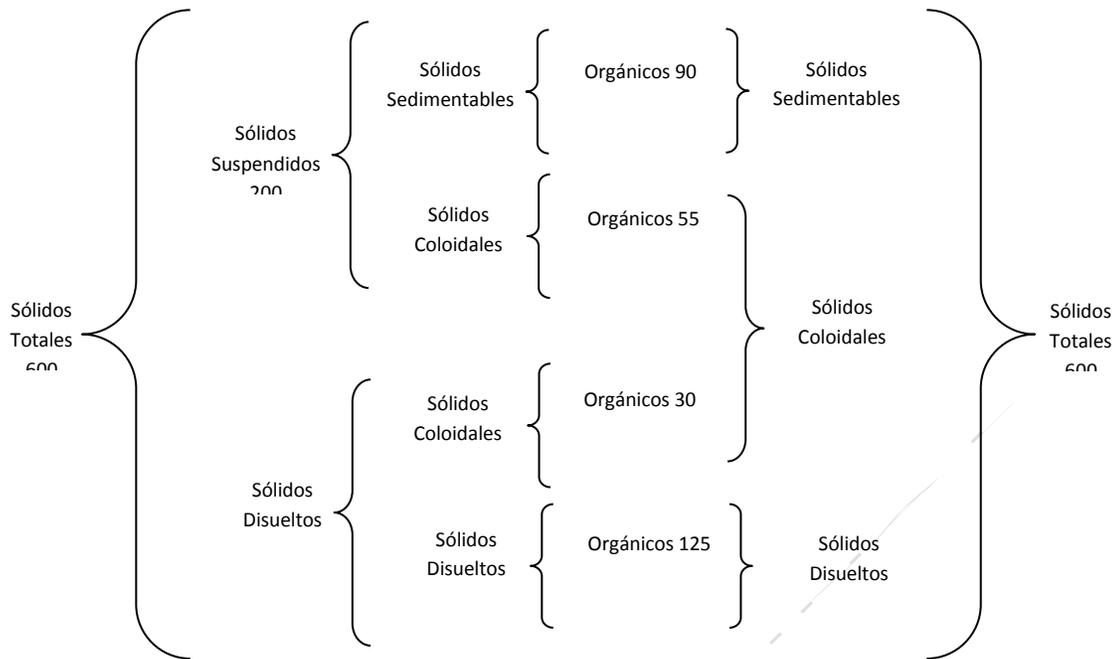


Fig. 1.3 Condición física y composición de los sólidos contenidos en un agua residual doméstica (cifras en ppm).

En promedio el agua residual cruda contiene alrededor de 1,000 mg/L de sólidos en solución y suspensión, lo que equivale a decir que cerca del 99.9% es agua (Fig.1.4).

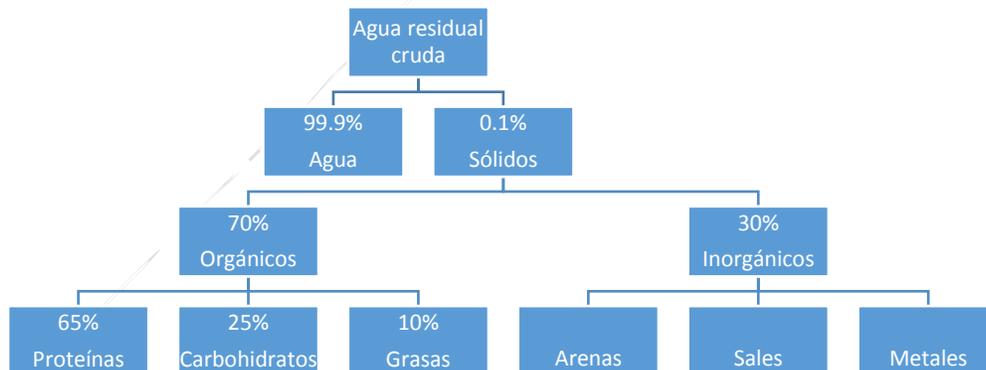


Fig. 1.4 Composición del agua residual con respecto a los sólidos.

Con respecto al contenido de materia inorgánica y orgánica, se clasifican como no volátiles y volátiles (fijos y volátiles). Los últimos se subliman a temperaturas de 550° C. En la mayoría de los casos, los sólidos volátiles son considerados orgánicos y esta prueba permite conocer las características orgánicas/inorgánicas de los sólidos.

11.2.4.2 1.2.4.2 Características químicas.

Las características químicas tienden a ser más específicas en su naturaleza que algunos de los parámetros físicos y por eso son más útiles para evaluar de inmediato, las propiedades de una muestra. Enseguida se describen algunas características químicas:

1. **pH.** Mide la concentración de iones de hidrógeno presentes.



$$[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K_w = 1 * 10^{-14}$$

El pH puede afectar a los métodos de tratamiento y al equipo metálico expuesto con el agua residual. La alcalinidad natural del agua residual en muchos casos actuará como amortiguador suficiente para conservar un pH neutro (7), necesario para la actividad biológica. Si el pH se sale de un intervalo de 6.5 y 8.5, el tratamiento biológico no será posible además de que se generan problemas de corrosión.

2. **Alcalinidad.** Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Se debe a la presencia de bicarbonato  $[\text{HCO}_3^-]$ , carbonato  $[\text{CO}_3^{=}]$  e hidróxido  $[\text{OH}^-]$ . La alcalinidad se define en términos cantidades molares como

$$\text{eq/m}^3 = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{=}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$$

3. **Acidez.** 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 4.5 a 8.2, mientras que la acidez mineral (generalmente producida por desechos industriales) se presenta por debajo de un pH de 4.5. La acidez, al igual que la alcalinidad se expresa en términos de  $\text{CaCO}_3$ .

4. **Oxígeno disuelto (OD).** El oxígeno es un elemento muy importante en el control de la calidad del agua. Su presencia es esencial para mantener las formas superiores de vida biológica y el efecto de una descarga de desechos biodegradables en un río es la disminución del oxígeno en el sistema. Además, la solubilidad del oxígeno depende de la temperatura, mientras mayor sea esta, menor es el nivel del gas disuelto en el agua.

Temperatura, ° C	0	10	20	30
------------------	---	----	----	----

OD, mg/L	14.6	11.3	9.1	7.6
----------	------	------	-----	-----

Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas con OD, pero la demanda de oxígeno de los desechos orgánicos puede consumirse rápidamente. Los peces de pesca deportiva requieren cuando menos 5 mg/L de OD y los peces ordinarios no sobreviven con menos de 2 mg/L de OD. Las aguas saturadas de oxígeno tienen un sabor agradable y las aguas con deficiencia de OD son insípidas; por esa razón, si es necesario, el agua para beber se aerea para que tenga un OD máximo.

**5. 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 CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O. La cantidad del contenido orgánico de un desecho se obtiene al medir la cantidad del oxígeno que se requiere para su estabilización.

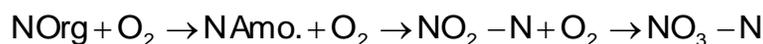
a) *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).* Mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos en la transformación de la materia orgánica en CO<sub>2</sub> y el nuevo material celular. Asimismo, incluye la cantidad de oxígeno requerido para llevar a cabo la nitrificación.

b) *Demanda química de oxígeno (DQO).* Es el oxígeno consumido por una muestra de agua residual de dicromato de potasio después de 2 o 3 h de reflujo con ácido sulfúrico concentrado. Casi todas las sustancias orgánicas se oxidan en su totalidad, con excepción de compuestos como la piridina, el benceno o el tolueno. El valor de la DQO da una idea del contenido de materia oxidable (orgánica e inorgánica). La magnitud de los resultados obtenidos normalmente es DBO < DQO.

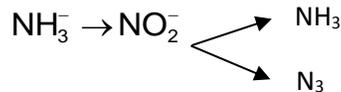
La materia orgánica se puede determinar directamente como carbón orgánico total (COT) mediante técnicas especializadas de combustión o por la capacidad de absorción de rayos UV de la muestra. En ambos casos hay en el mercado instrumentos comerciales, pero su compra y operación es relativamente cara.

**6. Nitrógeno.** Es un elemento importante ya que las reacciones biológicas sólo pueden efectuarse en presencia de nitrógeno suficiente. El nitrógeno puede presentarse en cuatro formas principales:

- a) *Nitrógeno orgánico.* En la forma de proteínas, aminoácidos y urea.
- b) *Nitrógeno amoniacal.* Como sales de amoníaco; por ejemplo, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, o como amoníaco libre.
- c) *Nitrógeno de nitritos.* Una etapa intermedia de oxidación que normalmente no se presenta en grandes cantidades.
- d) *Nitrógeno de nitratos.* Producto final de la oxidación del nitrógeno. La oxidación de los compuestos de nitrógeno, llamada nitrificación, se expresa de la siguiente forma:



La reducción del nitrógeno, que se llama desnitrificación puede invertir el proceso:



Las concentraciones relativas de las diferentes formas de nitrógeno son un indicador útil de la naturaleza y concentración de la muestra. Antes de disponer del análisis bacteriológico, se evaluaba la calidad de las aguas en relación con su contenido de nitrógeno. Si el agua contenía nitrógeno orgánico y amoniacal altos con poco  $\text{NO}_2\text{-N}$  y  $\text{NO}_3\text{-N}$  se consideraba insegura debido a su reciente contaminación. Por otro lado, una muestra sin nitrógeno orgánico, ni amoniacal y algo de  $\text{NO}_3\text{-N}$  se consideraba segura ya que la nitrificación habría ocurrido y su contaminación no podría ser reciente.

**7. Fósforo.** El fósforo es requerido para la reproducción y síntesis de nuevos tejidos celulares y su presencia es necesaria para el tratamiento biológico. El agua residual doméstica es relativamente rica en fósforo (como fosfatos), debido a su alto contenido de desechos humanos y detergentes sintéticos (estos últimos pueden ser medidos como SAAM sustancias activas al azul de metileno), por lo que el contenido del elemento es tal que permite llevar a cabo el tratamiento biológico.

**8. Cloruro.** Responsable del sabor salobre en el agua, es un indicador de posible contaminación del agua residual debido al contenido de cloruro de amoníaco presente en la orina. En el agua potable, el sabor del  $\text{Cl}^-$  se hace presente con 250-500 mg/L, aunque una concentración hasta de 1500 mg/L es poco probable que sea dañina para consumidores en buen estado de salud.

**9. Grasas y aceites.** Estas sustancias representan un problema para el tratamiento del agua residual, ya que tienden a flotar y a formar una capa en la superficie del agua, la cual impide la transferencia de los gases entre el aire y el agua, quizá el más importante sea el oxígeno. Además son de descomposición muy lenta o nula, dependiendo de su origen.

#### 11.2.4.3 1.2.4.3 Características biológicas.

Casi todos los desechos orgánicos contienen grandes cantidades de microorganismos; el agua residual contiene más  $10^6$  coliformes/ml. Después del tratamiento convencional el agua residual todavía contiene una gran cantidad de microorganismos, al igual que muchas aguas superficiales naturales.

Claro 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 que el agua residual cruda. Para obtener una imagen verdadera de la naturaleza de una muestra en particular, es necesario cuantificar diferentes parámetros mediante análisis que determinen sus características físicas, químicas y biológicas; sin embargo, no se investigan todas las características de una muestra dada. La Tabla 1.5 lista los parámetros que con más frecuencia se miden en las diferentes muestras.

Tabla 1.5 Características importantes de muestras diferentes.

Característica	Agua de río	Agua para beber	Agua residual	Agua residual tratada
pH	X	X	X	X
Temperatura	X	X	X	
Color	X	X		
Turbiedad	X	X		
Sabor		X		
Olor	X	X		
Sólidos totales	X	X		
Sólidos sedimentables			X	
Sólidos suspendidos			X	X
Conductividad	X	X		
Radiactividad	X	X		
Alcalinidad	X	X	X	X
Acidez	X	X	X	X
Dureza	X	X		
OD	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
Detergentes sintéticos	X		X	X
Coliformes	X	X		

### **11.2.5 1.2.5 Análisis del agua residual.**

Para obtener un indicio verdadero de la naturaleza de un agua natural o residual es necesario asegurarse primero de que la muestra es representativa de la fuente. Satisfecho este requisito, se deben desarrollar los análisis apropiados mediante procedimientos estándar y comparar los resultados obtenidos con análisis diferentes.

#### *11.2.5.1 1.2.5.1. Muestreo*

La recolección de una muestra representativa de una fuente de calidad uniforme representa pocos problemas y la toma de una sola muestra es suficiente. También lo es una muestra aislada si el propósito es simplemente saber de inmediato si se ha cumplido con ciertos límites particulares. Sin embargo, la mayoría de las aguas crudas y aguas residuales son muy variables tanto en calidad como en cantidad y es poco probable que con una muestra aleatoria se obtenga un cuadro significativo de la naturaleza de la fuente.

#### *11.2.5.2 1.2.5.2 Métodos de medición.*

El análisis de las sustancias o muestras depende del tipo de información que se busque, es decir qué o cuánto está presente de una especie dada. Los métodos y las técnicas que se emplean para determinar la composición de la materia se dividen en análisis cualitativo y cuantitativo. El primero identifica los compuestos presentes en una muestra dada o los detalles estructurales de la misma. El segundo determina la cantidad del componente presente en la muestra. El análisis cuantitativo puede ser directo o indirecto dependiendo de la forma en que se realice la medición final a partir de la cual se deduce la cantidad de la especie en cuestión.

Los análisis comunes para el control de la calidad del agua comprenden métodos gravimétricos, volumétricos y colorimétricos. Es posible determinar la presencia de ciertos constituyentes por medio de diferentes tipos de electrodos y hay creciente interés en el desarrollo de técnicas automatizadas para el monitoreo continuo de parámetros importantes. Se debe saber que debido a las bajas concentraciones de impurezas en el agua, el trabajo de laboratorio frecuentemente es de naturaleza microanalítica y requiere de procedimientos cuidadosos. La tabla 1.6 presenta la clasificación de los métodos analíticos comunes, así como la tabla 1.7 muestra las ubicaciones sugeridas, análisis típicos, frecuencia y tipo de prueba requerida para los procesos unitarios de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 1.6 Clasificación de los métodos analíticos comunes.

Clasificación	Subclasificación (método)	Magnitud que se mide
Gravimétricos	Directo	Peso del compuesto que contiene a la especie buscada.
	De valoración	Pérdida de peso debida a la volatilización de la especie.
Volumétricos	De valoración	Volumen de solución que equivale químicamente a la especie buscada.
	De gases	Volumen de especie gaseosa producido o consumido.
Ópticos	Espectroscopia de emisión.	Radiación emitida por la especie.
	Espectroscopia de adsorción, colorimetría	Radiación adsorbida por la especie.
	Polarimetría	
	Refractometría	Rotación del plano de la luz polarizada debida a la especie.
	Turbidimetría, nefelometría	Índice de refracción de una solución de la especie. Dispersión de la luz por la especie.
Electro-analíticos	Potenciometría	Potencial de un electrodo en equilibrio con la especie.
	Conductometría	Conductividad de una solución por la especie.
	Coulombimetría	Cantidad de electricidad equivalente a la especie.
	Polarografía	Corriente asociada con una reacción en un electrodo polarizable.
Varios	Métodos de alta frecuencia.	Capacidad de una solución con la especie.
	Espectroscopia de masa	Relación masa/carga de los productos de descomposición de la especie.

Tabla 1.7 Ubicaciones sugeridas, análisis típicos, frecuencia y tipo de prueba requerida para los procesos unitarios de tratamiento de aguas residuales.

Procesos unitarios	Localización de las muestras	Análisis	Prueba		
			Uso <sup>b</sup>	Frecuencia <sup>b</sup>	Tipo <sup>b</sup>
Lagunas de estabilización	Influyente de la planta	DBO	PP	1/sem	C
		TSS	PP	1/sem	C
		pH	PC	D	G
	Lagunas	pH	PC	D	G
		DO	PC	D	G
		Temperatura	PC	D	G
	Efluente de la planta	DBO	PP	D	C
		TSS	PP	1/sem	C
		pH	PP	1/sem	G
		DO	PP	D	G
		Coliformes fecales	PP	D	G
		Cl <sub>2</sub> residual	PP	D	G



Tratamiento primario	Influente primario	DBO	PP	D	C
		TSS	PP	1/sem	C
		pH	PC	1/sem	G
		TKN	PP	D	G
		NH <sub>3</sub>	PP	1/sem	G
	Efluente primario	DBO	PP	1/sem	C
		TSS	PP	1/sem	C
		DO	PP	1/sem	G
		pH	PP	D	G
	Lodo primario	TS	PC	D	C
		VS	PC	1/sem	C

Filtro rociador y biodiscos.	Efluente del tratamiento primario (influyente del filtro)	DBO	PP	D <sup>a</sup>	C	
		TSS	PP	D <sup>a</sup>	C	
		PH	PC	D <sup>a</sup>	G	
	Efluente del filtro	DO	PC	D	G	
		Temperatura	PC	D	G	
		NH <sub>3</sub>	PC	1/sem	G	
		NO <sub>3</sub>	PP	1/sem	G	
		Efluente del sedimentador secundario.	DBO	PP	D <sup>a</sup>	C
			TSS	PP	D <sup>a</sup>	C
	DO		PP	D <sup>a</sup>	G	
	Coliformes fecales		PP	D	G	
	Cl <sub>2</sub>		PP	D <sup>a</sup>	G	
	pH		PP	D <sup>a</sup>	G	
	NO <sub>3</sub>		PP	1/sem	G	
	Lodo del sedimentador secundario.	NH <sub>3</sub>	PC	1/sem	G	
		TS	PC	D <sup>a</sup>	C	
		VS	PC	D <sup>a</sup>	C	

Procesos unitarios	Localización de las muestras	Análisis	Prueba		
			Uso <sup>b</sup>	Frecuencia <sup>b</sup>	Tipo <sup>b</sup>
Lodos activados	Efluente primario	DBO	PP	D <sup>a</sup>	C
		TSS	PP	D <sup>a</sup>	C
		pH	PC	D <sup>a</sup>	G



	Licor mezclado	DO	PC	D	G
		Temperatura	PC	D	G
		TSS	PC	D <sup>a</sup>	C
		VSS	PC	D <sup>a</sup>	C
		NO <sub>3</sub>	PC	1/sem	G
	Lodos de recirculación  Efluente del sedimentador secundario	TSS	PC	D <sup>a</sup>	C
		DBO	PP	D <sup>a</sup>	C
		TSS	PP	D <sup>a</sup>	C
		DO	PP	D	G
		Coliformes fecales	PP	1/sem	G
		Cl <sub>3</sub> residual	PP	D	G
		pH	PP	D	G
		TKN	PP	1/sem	G
		NH <sub>3</sub>	PP	1/sem	G
		NO <sub>2</sub>	PP	1/sem	G
NO <sub>3</sub>	PP	1/sem	G		
Digestión anaerobia	Influente al digestor	TS	PP	D	C
		VS	PP	D	C
		pH	PC	D	G
		Alcalinidad	PC	1/sem	G
	Digestor	Temperatura	PC	D	G
		Ácidos volátiles	PC	1/sem	G
		Alcalinidad	PC	1/sem	G
		pH	PC	D	G



		Metales pesados	PC	1/mes	G
				1/sem	
	Lodos digeridos	Ácidos volátiles	PC	D	G
		TS	PP	D	G
		VS	PP	1/sem	G
		TKN	PC		G
				D	
	Sobrenadante	TS	PP	D	C
		TSS	PC	D	C
		DBO	PC		C
				D	
	Gases	CH <sub>4</sub> o CO <sub>2</sub>	PC		G
Procesos unitarios	Localización de las muestras	Análisis	Prueba		
			Uso <sup>b</sup>	Frecuencia <sup>b</sup>	Tipo <sup>b</sup>
Digestión aerobia	Influente al digestor	TS	PP	D	C
		VS	PP	D	C
		pH	PC	D	G
		NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub>	PP	1/sem	G
		Alcalinidad	PC	1/sem	G
	Digestor	pH	PC	D	G
		Temperatura	PC	D	G
		DO	PC	D	G
		NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub>	PP	1/sem	G
		TS	PP	D	C
		VS	PP	D	C
		Alcalinidad	PC	1/sem	G

	Lodos producidos	Ácidos volátiles	PC	1/sem	G
		TS	PP	D	C
		VS	PP	D	C
		NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub>	PP	1/sem	G
		pH	PC	D	G
	Sobrenadante	TS	PP	D	C
		TSS	PP	D	C
		NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub>	PP	1/sem	G
		BOD	PC	D	C

<sup>a</sup> Frecuencia que puede ser reducida si la descarga lo permite.

<sup>b</sup> D=diario; C=muestra compuesta; G=muestra puntual; PC= control del proceso; y PP=evaluación de la planta.

Para evaluar exactamente esta situación, es necesario obtener una muestra compuesta por todas las muestras tomadas a intervalos conocidos durante cierto período y en proporción al caudal. Al mezclar las muestras individuales en proporción con los flujos apropiados se obtiene una muestra compuesta integrada. Se aplican procedimientos similares cuando se toman muestras de corrientes y ríos; con secciones de canales muy grandes es necesario tomar muestras en varios puntos de la sección transversal y a diferentes profundidades.

Existen diferentes equipos automáticos para tomar muestras compuestas que operan por tiempo o en proporción al caudal. El muestreo de descargas de agua residual de origen industrial puede ser aún más difícil, ya que con frecuencia éstas son intermitentes. En estas circunstancias es importante que se entienda cabalmente el tipo de las operaciones que producen la descarga para poder implementar un programa de muestreo apropiado y obtener la imagen real de la descarga.

Cuando se diseña un programa de muestreo es fundamental que se especifique claramente su objetivo, por ejemplo, estimar concentraciones máximas o medias, detectar cambios o tendencias, estimaciones porcentuales o tener una base para cobrar por cada efluente industrial.

También se debe especificar el margen de error tolerable; así como tener en mente los recursos disponibles para la toma de muestras y el análisis, pues la reducción de la

incertidumbre de los resultados podría requerir el doble de muestras, lo que haría costoso el análisis. Por tanto, es importante establecer un nivel práctico y aceptable en las variaciones de los resultados con base en el uso deseado. En forma ideal, todos los análisis se deben practicar inmediatamente después de la recolección de las muestras, ya que mientras más rápido se hagan, es más probable que los resultados sean una evaluación verdadera de la natural real del líquido in situ.

Con características inestables, como gases disueltos, constituyentes oxidables o reducibles, etc., los análisis de efectuarse en el campo o tratar la muestra adecuadamente para fijar las concentraciones de los materiales inestables.

Los cambios que ocurren al transcurrir el tiempo en la composición de una muestra se pueden retardar si se almacena a baja temperatura (4° C); también se recomienda no exponerla a la luz. Cuanto más contaminada esté el agua, más corto es el tiempo disponible para la toma de muestras y el análisis, si se quieren evitar errores significativos.

La Tabla 1.8 muestra la composición promedio del agua residual doméstica, así como la tabla 1.9 presenta los contenidos sólidos típicos en aguas residuales domésticas.

Tabla 1.8 Composición promedio del agua residual doméstica.

Contaminantes	Unidad	Concentración		
		Débil	Media	Alta
Sólidos Totales	mg/L	350	720	1200
Disueltos totales	mg/L	250	500	850
Disueltos fijos	mg/L	145	300	525
Disueltos volátiles	mg/L	105	200	325
Suspendidos totales	mg/L	100	220	350
Suspendidos fijos	mg/L	20	55	75
Suspendidos volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/L	5	10	20
DQO	mg/L	250	500	1000
DBO5	mg/L	110	220	400
Nitrógeno (total como N)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoniaco	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (total como P)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfatos	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO3)	mg/L	50	100	200
Grasas	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	NMP/100ml	1 x 10 <sup>6</sup>	1 x 10 <sup>7</sup>	1 x 10 <sup>8</sup>

Fuente: Metcalf & Eddy, 1991.

Tabla 1.9 Contenidos sólidos típicos en aguas residuales domésticas.

Clasificación de sólidos	Concentración, mg/L		
	Fuerte	Mediano	Débil
Sólidos totales			
Total	1200	700	350
Fijo	600	350	175
Volátil	600	350	175
Sólidos suspendidos			
Total	350 <sup>a</sup>	200	100
Fijo	75	50	30
Volátil	275	150	70
Sólidos disueltos			
Total	850	500	250
Fijo	525	300	145
Volátil	325	200	105

<sup>a</sup> Un tanto alto en el Reino Unido

### 11.2.6 1.2.6 Legislación.

**NOM-001.** Para las descargas de aguas residuales municipales e industriales a cuerpos receptores. Tiene como objetivo proteger la calidad de las aguas nacionales y posibilitar su uso benéfico.

Estará en función de los tipos de cuerpos receptores: superficiales continentales; marinos interiores y territorial; y suelo. Se fijarán los límites máximos permisibles para contaminantes básicos, patógenos, tóxicos y conservativos.

Será complementada con condiciones particulares de descarga. Los parámetros adicionales estarán en función de los usos del agua y la capacidad de asimilación y dilución del cuerpo receptor.

El cumplimiento de la Norma será por etapas, para las descargas municipales en función del tamaño de la población; para las descargas industriales en función de la carga y la concentración de contaminantes.

		Criterios de aplicación					
Etapa	Descargas municipales	Descargas industriales					
		Carga contaminante o concentración					
	Tamaño de la población	DBO <sub>5</sub>		DQO		SST	
	(habitantes)	kg/d	mg/L	kg/d	mg/L	kg/d	mg/L
enero 2000	- 50,000	- 3,000	- 600	- 6,000	- 1,200	- 3,000	- 600
enero 2005	20,000 a 49,999	- 1,200	- 250	- 2,400	- 500	- 1,200	- 250
enero 2010	2,500 a 19,999	- 150	- 175	- 300	- 350	- 150	- 175

Los límites permisibles para contaminantes básicos y tóxicos, están en función de los cuerpos receptores, tanto de la naturaleza del cuerpo, como del uso del agua. En la siguiente tabla se resume estos niveles.

Niveles	Ríos		Lagos y embalses naturales y artificiales		Aguas costeras			Suelo		Humedales
	Abasto público	Riego agrícola	Abasto público	Riego agrícola	Recreación	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Estuarios	Acuífero de alta vulnerabilidad	Acuífero de baja vulnerabilidad	
	B	A	C	B	B	A	B	C	A	C

El límite para los microorganismos patógenos tendrá un solo nivel, comprende coliformes fecales y huevos de helmintos.

**NOM-002.** Para el control y tratamiento de las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano municipal. Su objetivo es el control de los contaminantes convencionales y no convencionales, para proteger la infraestructura del alcantarillado, los sistemas de tratamiento y abatir los costos de la depuración de las aguas residuales municipales.

Los plazos para cumplir con el control y tratamiento de las descargas a los sistemas de alcantarillado se prevé que sea un año antes que los plazos fijados para la NOM-01.

**NOM-003.** Para el uso de las aguas residuales tratadas. El objetivo de esta Norma es proteger la salud de los usuarios de las aguas tratadas y al medio ambiente por los efectos negativos ocasionados por los subproductos del tratamiento.

Estas normas toman en cuenta la eficiencia de remoción de contaminantes por los procesos de tratamiento y la disponibilidad de recursos humanos y tecnológicos; los costos de tratamiento en las finanzas de los organismos operadores, industrias y usuarios finales del agua. Su aplicación será gradual para alcanzar metas de remoción de contaminantes en ciertos plazos. Las metas se aplicarán en función del cuerpo receptor (de acuerdo con el uso del agua), del tamaño de las poblaciones y para las industrias de acuerdo a la carga contaminante.



## 12 Pretratamiento.

### 12.1 2.1 Rejillas.

Las rejillas son un pretratamiento que elimina los contaminantes más voluminosos, ya sean flotantes o suspendidos, del agua residual. Las rejillas se clasifican en función del tamaño de la partícula removida, como finas o gruesas (Tabla 2.1).

En general, en las plantas de tratamiento, las rejillas de gruesas se utiliza para remover los sólidos de gran tamaño o basura, los cuales al transportarse con la corriente de agua residual pueden interferir en la operación del equipo de la planta como bombas o válvulas, aeradores mecánicos y filtros biológicos, afectando la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento. Una variante es la reducción de tamaño de la basura (desmenuzado).

Las rejillas finas, se desarrollaron para eliminar algas y otras plantas acuáticas por tamizado directo. En algunas instalaciones, se emplea este tipo de rejillas para mejorar la calidad del efluente secundario.

El tamaño de la abertura del tamiz se determina generalmente por el flujo y el menor tamaño de la partícula, de manera que el sistema de rejillas opere eficiente y económicamente.

Tabla 2.1. Tamaño de la abertura de las rejillas gruesas y finas.

Tipo de tamiz	Abertura (mm)	Observaciones
Rejillas antes de las bombas de agua residual y del desarenador.	51 a 153	
Rejillas antes de otras unidades o procesos.	19 a 51	Puede usarse aberturas de 25 mm.

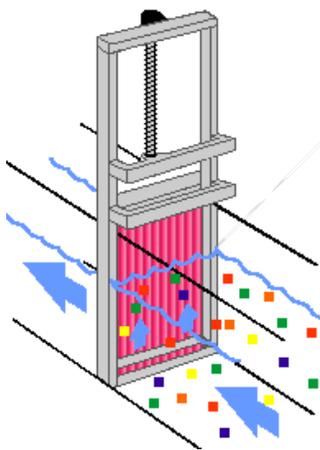
Desmenzadores	6 a 19	La abertura está en función de la capacidad hidráulica de la unidad.
Tamiz fijo (estático)	2.3 a 6.4	Aberturas menores a 2.3 mm son usadas en pretratamiento y/o tratamiento primario.
Tamiz ajustable	0.02 a 0.3	

Fuente: WPCF y ASCE, 1982.

### 12.1.1 2.1.1 Rejillas gruesas.

El tamizado de sólidos de gran tamaño es normalmente empleado como una unidad del tratamiento primario con el propósito de proteger el equipo de la planta de tratamiento, así como reducir alteraciones en la eficiencia de operación. Una muestra de su efectividad radica en la disminución de los costos de operación y mantenimiento del equipo. Se incluyen en este grupo las rejillas, desmenzadores y mallas metálicas. Los más comunes son las rejillas y desmenzadores.

### 12.1.2 2.1.2 Rejillas.



Su principal función, junto con un sistema de colección, es prevenir que troncos, madera, botellas de plástico y otros objetos voluminosos entren a la planta de tratamiento.

Una unidad de rejillas consiste de barras de acero verticales o inclinadas espaciadas a intervalos iguales (Fig. 2.1), situadas en forma perpendicular al canal a través del cual fluye el agua residual. Las rejillas son usadas antes de las bombas para el manejo de agua residual, medidores, desarenadores y sedimentadores primarios, y en obras de desvío. La abertura de las barras se define en función del tipo de basura presente en el flujo. Para las rejillas gruesas se consideran aberturas entre 75 y 150 mm, mientras que en las rejillas finas los claros son entre 15 y 75 mm.

Fig. 2.1 Rejilla.

Las rejillas pueden ser limpiadas manual o mecánicamente (Fig. 2.2 y 2.3). Si la limpieza no se realiza con frecuencia, la remoción de los sólidos atrapados puede provocar turbulencia cuando la velocidad de flujo es alta; una velocidad alta reduce la eficiencia de captura. Cuando un limpiador mecánico es operado intermitentemente, la interferencia con el flujo puede mantenerse a un nivel mínimo.

Las rejillas de limpieza mecánica tienen inclinaciones de 60 a 90 grados con respecto a la horizontal mientras que las de limpieza manual varían de 45 a 60 grados. Para éstas últimas, la inclinación facilita la limpieza y reduce la tendencia a obstrucciones.

El espacio que hay entre las rejillas manuales es de 25 a 50 mm, mientras que en las rejillas de limpieza mecánica los claros van de 15 a 75 mm.

El uso de rejillas con limpiadores mecánicos tiende a reducir los costos de operación, ofreciendo un flujo de mejor calidad, además de facilitar su operación. El equipo mecánico se utiliza tanto para plantas medianas como pequeñas. Para sistemas de drenaje combinado, se prefiere el uso de rejillas con limpieza mecánica para la remoción de basura, debido a su capacidad para manejar grandes cantidades de desechos bajo condiciones de tormenta, y debido a la rigidez de su estructura.

Los limpiadores mecánicos consisten de rastras que barren el tamiz completo removiendo los sólidos para su disposición. Algunas rejillas mecánicas utilizan cadenas o cables continuos para mover los dientes de la rastra por las aberturas de la rejilla. La limpieza puede ser frontal o trasera. La limpieza frontal puede, en ocasiones, atorarse por depósitos de basura no considerados; si la velocidad del canal se mantiene por arriba de 0.25 m/s, la obstrucción es mínima. La limpieza por atrás o rejillas de limpieza completa, no se atorán ya que están provistas de un protector; sin embargo, debido a que los dientes de la rastra son largos, éstos son más susceptibles a doblarse o romperse. El mecanismo de limpieza provisto de un depósito unido a la rastra se utiliza cuando la unidad de desarenado y rejillas están juntas. La activación de las rejillas mecánicas generalmente es automática y esto se hace programando que el mecanismo corra cada determinado periodo (10 a 15 min), o bien, mediante un electrónivel antes de la rejilla, cuando el nivel del agua sube, se activa el mecanismo.

La figura 2.4 presenta un equipo comercial de limpieza mecánica de rejillas.



Fig. 2.2 Rejillas para limpieza manual.



2.3 Rejillas mecánicas.

Fig.



Fig.2.4 Equipo comercial de limpieza mecánica de rejillas.

En algunas plantas, las rejillas con limpieza mecánica se usan en combinación con desmenuzadores (también llamados desfibradores o bombas trituradoras), los cuales regresan el material triturado a la corriente para su posterior remoción en los procesos de tratamiento primario. Los requerimientos para un tratamiento correcto del agua con base en desmenuzadores, dependen del tipo de tamiz, punto de la descarga y tipo del desmenuzador.

### 12.1.3 2.1.3 Desmenzadores.

El uso de estos aparatos acondiciona a la materia orgánica biodegradable para su posterior tratamiento. El empleo de estos equipos evita el contacto del operador con la basura, pero aumenta la carga de sólidos para las unidades posteriores. Los desmenzadores (Fig. 2.5; Tabla 2.2) se instalan en la corriente del agua residual, cortan el material de 6 a 19 mm, pero no lo eliminan, las unidades subsecuentes tendrán que encargarse de ello.

Los sólidos de los desmenzadores y trituradores pueden generar depósitos en los tanques de digestión u obstrucciones en los difusores de aire. Todos los desmenzadores generan residuos del material que cortan, afectando equipos como aeradores mecánicos, mezcladores y bombas. Cuando se desea reinstalar un desmenzador deben consultarse los manuales del fabricante y los datos de operación para elegir el tamaño de la unidad en función de la partícula de mayor tamaño a ser cortada.



Fig. 2.5 Desmenzador instalado en un canal.

Tabla 2.2 Algunos mecanismos de corte de los desmenzadores.

Diferentes mecanismos de corte
1. El material voluminoso se corta a través de dientes y barras contenido en un tambor que pasa por un peine fijo.
2. Cortadores colocados en un armazón oscilante fijo dentro de un tambor semicircular.
3. Una rejilla estacionaria captura los sólidos voluminosos mientras que los de menor tamaño pasan a través de dientes cortantes montados en discos rotatorios.
4. Los cortadores rotatorios trabajan por arriba o abajo de las rejillas cortantes reteniendo los sólidos y permitiendo su entrada.

Fuente: WPCF, 1982.

### 12.1.4 2.1.4 Rejillas estáticas.

La aplicación de las rejillas estáticas (Fig. 2.6) en el tratamiento del agua residual municipal reduce la DBO y SS de 20 a 35 %. De esta forma, el uso de esta rejilla es común para el pretratamiento; considerándose en algunos casos como un tratamiento primario. Sin embargo, su uso requiere de un estudio detallado y una comparación de la calidad del tratamiento con otros procesos. Se emplean platos perforados, mallas metálicas o rejillas de pequeña abertura. La aberturas van de 0.2 a 1.2 mm, el rango de operación es de 400 a 1200 L/m<sup>2</sup>·min y las pérdidas de carga que provocan son de 0.8 a 1.4 m.



Fig 2.6 Rejilla estática.

La rejilla fina ha sido usada en lugar de la sedimentación primaria para la remoción de los sólidos presentes en el agua residual antes del tratamiento secundario o su descarga en cuerpos receptores. También se emplean en sistemas de tratamiento sin sedimentación primaria, que han tenido problemas de obstrucción, para mejorar los procesos subsecuentes.

### 12.1.5 2.1.5 Tambores giratorios.

La abertura de las rejillas para sólidos finos varía de 2.3 a 6.0 mm, siendo menos usual el emplear tamices de 2.3 mm. Sin embargo, actualmente aberturas menores de 2.3 mm son utilizadas para en el pretratamiento y/o el tratamiento primario. Los enrejillados con tambores giratorios ayudan a incrementar la eficiencia de remoción en las plantas de tratamiento secundarias. El plato perforado y las barras de espacio cerrado, normalmente, tienen aberturas mayores a 0.02 mm. Las mallas metálicas, al igual que en las rejillas de gruesas, se emplean cuando se requiere un tamizado muy fino. Han encontrado su uso sobre todo en el tratamiento de aguas residuales industriales para influentes que contienen fibras o pelusa. La figura 2.7 muestra un tambor giratorio.

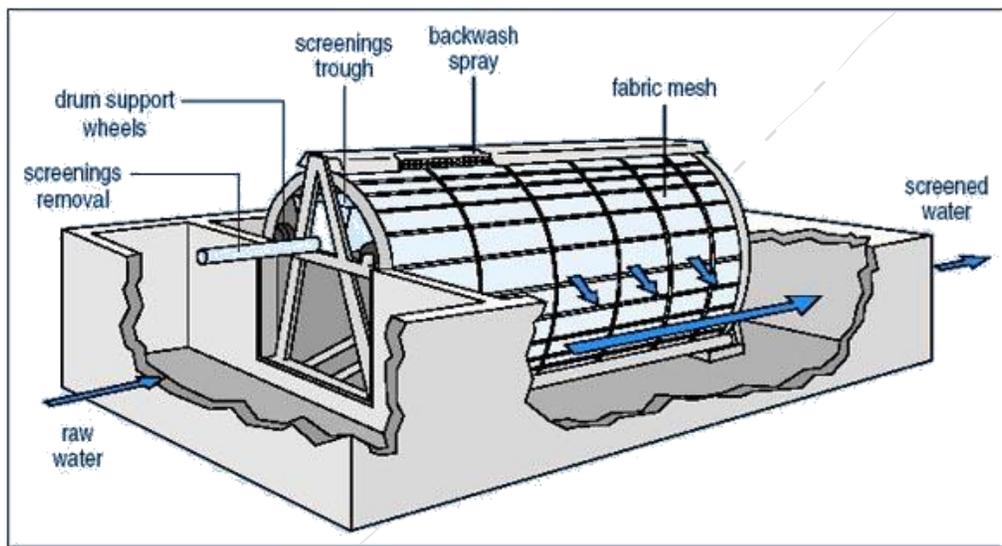


Fig. 2.7 Tambor giratorio.

### 12.1.6 2.1.6 Ubicación.

En la selección del sitio para la instalación de las rejillas de partículas gruesas, la principal consideración es la protección del equipo. Mientras que para los enrejillados de finos, el tamaño de la partícula en el influente y el grado de tratamiento esperado son los parámetros de mayor interés. La selección del sitio para estos últimos deberá hacerse conjuntamente con el fabricante.

Para las rejillas de partículas gruesas, se tienen las siguientes consideraciones:

- Si el sistema del alcantarillado es muy profundo con respecto al sitio de la planta de tratamiento, la estación de bombeo está situada a distancia de la planta o el drenaje es combinado, se recomienda usar rejillas antes del bombeo. En caso contrario, puede instalarse una unidad de rejillas de abertura pequeña después del bombeo.
- Si el sitio de instalación es en una sección o canal profundo, es necesario que el acceso y la remoción de la basura sea fácil.

### **12.1.7 2.1.7 Cantidad, calidad y manejo del material enrejillado.**

El volumen del material enrejillado varía de acuerdo al sitio en el cual se localiza la planta de tratamiento de aguas residuales. Conocer la cantidad de material enrejillado es difícil de evaluar sin datos de operación de la planta de tratamiento. La cantidad de residuos depende de la abertura del tamiz, flujo del agua residual, tipo de sistema de colección y características de disgregación del material presente.

De las variables que afectan la cantidad de residuos obtenidos, la de mayor importancia es la abertura del tamiz. Para claros de 25 a 50 mm, el volumen eliminado de material enrejillado por unidad de flujo o por persona es aproximadamente proporcional al tamaño de la abertura. Por cada 13 mm de reducción en el tamaño del claro el volumen puede duplicarse. Para rejillas con aberturas menores de 25 mm, el volumen eliminado puede incrementarse rápidamente conforme se reduce el claro de la abertura. Se estima que para rejillas con aberturas entre 30 y 50 mm el volumen de desechos que remueven es de 2 a 5 dm<sup>3</sup>/hab. Año, mientras que para una rejilla de 15 a 25 mm el volumen se duplica.

En el caso de sistemas de drenaje combinados, la variación en la cantidad de material eliminado es muy grande a causa de los periodos de sequía y lluvia durante el año. El volumen obtenido también varía en relación con la longitud del sistema de alcantarillado. Esta condición se explica por el hecho de que en un sistema de colección largo, los sólidos están más sujetos a la desintegración.

La composición es una consideración importante, junto con el volumen, para la disposición del material enrejillado. Esta presenta una gran cantidad de material orgánico, el cual puede provenir de las plantas o animales. Una porción del material en los residuos es fácilmente degradada, mientras otra resiste a la descomposición bacterial. Algunos materiales son, por si mismos, olorosos y otros adquieren el olor del agua residual.

Aunque la materia fecal es el principal componente del material enrejillado, no es el único constituyente. Casi cualquier tipo de objeto puede estar presente sobre todo cuando el alcantarillado es combinado. La composición varía de acuerdo con la estación del año. De los materiales que mayor inquietud generan durante el enrejillado son los trapos o lazos provenientes de las casas y estos son independientes de la época.

El material enrejillado contiene cerca del 80 % de humedad y tiene un peso de 640 a 960 kg/m<sup>3</sup>. En el caso de que los residuos provengan de tamices finos, el contenido de humedad puede ser mayor del 80%.

El diseño de las plantas de tratamiento de agua residual no es completo si no se prevé el manejo del material enrejillado, incluyendo su disposición final, de acuerdo con las regulaciones para aire, agua y suelo. Las etapas más comúnmente empleadas, solas o combinadas, son trituración, disgregación, digestión anaerobia, incineración y entierro.

### 12.1.8 2.1.8 Problemas comunes y acciones correctivas.

Tabla 2.3 Guía problemas y soluciones para rejillas mecánicas.

Indicadores / observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Olores repugnantes, moscas y otros insectos.	Acumulación de trapos y basura.	Método y frecuencia de la remoción de basura.	Incrementar la frecuencia de la remoción y disposición a un sitio aprobado.
Arena excesiva en la cámara de la rejilla.	Velocidad de flujo demasiado baja.	El fondo de arena en la cámara es irregular.  Baja velocidad.	Eliminar irregularidades del fondo, o pendiente del fondo.  Incrementar la velocidad de flujo en la cámara o limpiar con agua regularmente usando una manguera.
Atascamiento excesivo en la rejilla.	Cantidad inusual de basura en las aguas residuales. Verificar los desechos industriales (alimentos, otros).  Frecuencia de limpieza inadecuada.	Condiciones aguas arriba.  Frecuencia de la limpieza.	Usar una rejilla gruesa o identificar la fuente de los desechos causantes del problema, por lo tanto estas descargas pueden ser controladas.  Incrementar la frecuencia de la limpieza.
Rastrillo mecánico saturado, el interruptor del circuito no se reiniciará.	Mecanismo atascado.	Canal de la rejilla.	Remover la obstrucción.  Ajustar la tensión del cable o cadena.
Rastrillo parado, pero el motor trabaja.	Catarina rota.  Cadena o cable roto.	Revisar catarina.  Revisar la cadena.	Identificar la causa de la ruptura, remplace la catarina.  Remplace la cadena o cable.  Remplace el interruptor.

	Interruptor roto.	Revisar el interruptor dañado.	
Rastrillo sin trabajar, problema no visible.	Circuito del control remoto dañado.	Reemplazar circuito o motor.	Verificar los circuitos del interruptor.
Marcas o metal contra metal en la cubierta de la rejilla.	La rejilla necesita ajuste.	Rejilla a través de un ciclo, preste atención, escuche y observe el ciclo.	Ajustes recomendados por los fabricantes en el manual de O&M.

## **12.2 2.2 Medidores de flujo y desarenadores.**

### **12.2.1 2.2.1 Medidores de flujo.**

La medición del flujo en el tratamiento del agua residual facilita la operación y control de la planta. Conocer las variaciones de flujo permite determinar la cantidad de reactivos a emplear, el volumen de aire requerido en los tanques de aeración, y conocer la cantidad de lodo recirculado al reactor biológico.

#### *12.2.1.1 2.2.1.1 Localización de los medidores de flujo.*

La localización de los medidores de flujo se establece en función de los requerimientos de medición. Estos sitios incluyen: (1) dentro de un interceptor, (2) antes de la planta, (3) en el cauce de las rejillas, desarenador o sedimentador primario, (4) en la estación de bombeo, o (5) antes de la descarga final del efluente.

12.2.1.2 2.2.1.2 Métodos e instrumentos para la medición de flujo.

Existe una gran variedad de métodos e instrumentos para la medición del flujo que pueden utilizarse en el tratamiento del agua residual. La selección del método o instrumento apropiado depende de factores como costo, tipo y accesibilidad del conducto, disponibilidad de carga hidráulica, tipo y características del fluido. En general, los sistemas de medición de flujo caen en dos categorías: para líneas de presión y canal abierto. Sin embargo, algunos sistemas aplican ambos. En la medición del flujo del agua residual, es preferible un sistema en el cual la rapidez de descarga se relacione con una variable de medición sencilla; por ejemplo, leyendo directamente en curvas patrón.



Fig. 2.8 Medidor de flujo.

La Tabla 2.4 provee una lista de los principales métodos y aparatos utilizados en la medición del flujo.

Los medidores Venturi son precisos, tienen pérdidas de presión pequeñas y están libres de la acumulación de sólidos pero son costosos. Los medidores de orificio, por su parte, son baratos y flexibles, siendo su principal desventaja la pérdida de presión y la acumulación de sólidos. Las características de los medidores Nozzle son intermedias a los anteriores. El medidor electromagnético se utiliza para medir el gasto del agua residual con un alto contenido de sólidos, mientras que los acústicos, no aceptan más del 0.3% de sólidos suspendidos en peso.

Tabla 2.4 Tipos de medidores de flujo disponibles para determinar las descargas de agua residual municipal e industrial (1985).

Medidores de flujo	Principios de la medición
I. Para líneas de presión	
a. Venturi <sup>a</sup>	Se mide la presión diferencial
b. Nozzle <sup>a</sup>	Se mide la presión diferencial
c. de Orificio <sup>a</sup>	Se mide la presión diferencial
d. Tubo Pitot	Se mide la presión diferencial
e. Electromagnético <sup>a</sup>	Se induce un campo magnético y se mide el voltaje
f. Rotámetro	Se mide la distancia recorrida del flotador en el tubo.
g. De turbina <sup>a</sup>	Se mide la velocidad generada por elementos rotatorios (turbina, aspas, discos)

<p>h. Acústico<sup>a</sup></p> <p>i. de Ángulo</p> <p>j. Tubo Pitot</p>	<p>Se utilizan las ondas del sonido para medir la velocidad y nivel del líquido</p> <p>La velocidad se mide a lo largo de la curva formada por el ángulo</p> <p>Se mide la diferencia de presión</p>
<p>2. Para canales abiertos</p> <p>a. Canales (Parshall, Palmer-Bowlust)<sup>a</sup></p> <p>b. Vertedores<sup>a</sup></p> <p>c. de Corriente</p> <p>d. de Profundidad<sup>a</sup></p> <p>e. Acústico<sup>a</sup></p>	<p>Se mide la profundidad crítica en el canal</p> <p>Se mide la carga en el vertedor</p> <p>Se usan los elementos rotatorios para medir la velocidad</p> <p>Se usa el flotador para obtener la profundidad del fluido</p> <p>Utiliza las ondas del sonido para medir la velocidad y la profundidad</p>
<p>2 Medición computarizada para descarga libre</p> <p>3.1 Tuberías llenas</p> <p>a. Nozzle y orificio</p> <p>b. Canal abierto</p> <p>3.2 Tuberías parcialmente llenas</p> <p>a. Canal inclinado horizontal</p> <p>b. Nozzle de flujo abierto</p>	<p>Se mide el chorro de agua</p> <p>Se mide la caída del chorro de agua vertical</p> <p>Se mide la disminución del chorro de agua</p> <p>Se mide la profundidad del chorro de agua</p>
<p>4. Otros</p> <p>a. Método de dilución</p> <p>b. Método de la cubeta</p> <p>c. Medición del cambio de nivel en el tanque</p> <p>d. Rapidez de bombeo</p>	<p>Se utiliza un trazador</p> <p>Se usa una cubeta calibrada y se mide el tiempo de llenado</p> <p>Cambio en el nivel a lo largo del tiempo</p> <p>Rapidez v duración del bombeo</p>

<sup>a</sup> Medidores de flujo comúnmente usados en el tratamiento del agua residual. Fuente: Qasim, 1989.

Para sistemas de flujo en superficie libre, se utilizan comúnmente los canales y vertedores:

a) Los canales pueden manejar aguas residuales con un alto contenido de sólidos, y generan pequeñas pérdidas de carga. De ellos el más común en las plantas de tratamiento es el canal Parshall, ya que es bastante preciso, no presenta problemas para la operación ni para el mantenimiento, no genera acumulación de sólidos ni antes ni después e induce turbulencia al agua, de tal forma que además puede usarse para la mezcla de algún reactivo.

b) Los vertedores son muy baratos pero requieren un mantenimiento constante y producen grandes pérdidas de carga y pueden provocar la acumulación de sólidos antes del vertedor. Los resultados del cálculo para determinar el flujo a tratar, generalmente, son erróneos debido a la inexactitud de la pendiente y el coeficiente de rugosidad empleados en las fórmulas de fricción. Algunos de los instrumentos de medición de flujo se muestran en las figuras 2.9 y 2.10.



Fig. 2.9 y 2.10 Medidores de flujo ultrasónicos aplicables a tuberías y canales abiertos.

Las lecturas de flujo automáticas, se usan en plantas medianas y grandes. En general, las señales de los sensores de flujo se transmiten a un panel central donde son registradas; existen en el mercado una gran variedad de estos. Su diseño es complejo ya que se requieren criterios hidráulicos, neumáticos y electrónicos.

Para el diseño y selección de los medidores de flujo se deben tener presentes los siguientes puntos:

1. Las características del fluido para el cual se va a hacer la medición (sólidos suspendidos, densidad, temperatura, presión, etcétera).
2. Intervalo de flujo esperado (mínimo y máximo).

3. Precisión deseada (error permitido).
4. Localización del medidor y el sistema de conducción (de fuerza central, alcantarilla, canales o unidades de tratamiento).
5. Condiciones ambientales (corrosivo, caliente, frío, húmedo seco, etcétera).
6. Límite de pérdida de carga.
7. Material requerido (sensores de nivel y presión, transmisores y registradores).
8. Restricción en los espacios y el tamaño del medidor.
9. Compatibilidad con otros medidores.
10. Fabricación y catálogos.

### **12.2.2 2.2.2. Desarenadores.**

Los desarenadores tratan el agua residual proveniente de los sistemas de drenajes combinados y separados que contiene arena. Esta se caracteriza por ser no putrescible y tener una velocidad de sedimentación mayor que la correspondiente a la materia orgánica biodegradable. Los materiales que caen en esta categoría son partículas de arena, grava y trazas de minerales, y orgánicos no putrescibles como granos de café y semillas.

Eliminar el arena del agua residual protege a los equipo mecánico de la abrasión y el desgaste; reduce la obstrucción de los conductos por la acumulación de partículas de arena en las tuberías o canales, generalmente, en cambios de dirección; y, reduce la acumulación de material inerte en los tanques de aeración y lodo digerido, dando lugar a pérdidas en el volumen.

#### **12.2.2.1 2.2.2.1 Localización.**

En plantas de tratamiento automatizadas, la principal consideración que se debe tener es la protección del equipo, por ello es deseable instalar los desarenadores antes de las bombas de agua residual. Sin embargo, en muchas ocasiones el sistema de alcantarillado es tan profundo que situar el desarenador antes del bombeo no es recomendable. La instalación conjunta de las rejillas o desmenuzadores y los desarenadores facilita la eliminación de arena y su limpieza. Las ventajas y desventajas de instalar los desarenadores en diferentes lugares dentro de la planta de tratamiento se muestran en la Tabla 2.5.



Tabla 2.5 Diferentes sitios para la instalación de desarenadores.

Localización	Ventajas	Desventajas
Antes de la estación de bombeo	Máxima protección para el equipo de bombeo	Cuando se tiene una gran profundidad, los costos de construcción son muy elevados; el acceso es difícil y la remoción de arena no es buena
Después de la estación de bombeo	Accesible y fácil de operar	Algunas bombas sufren desgaste
Conjunto a clarificadores primarios	Bajo costo de inversión inicial y de operación y mantenimiento. Se obtiene una arena limpia y seca.	El equipo de bombeo no está bien protegido

FUENTE: Qasim, 1985.

#### 12.2.2.2 2.2.2.2 Tipos de desarenadores.

La cantidad y composición de la arena y su efecto en las unidades del tratamiento son las principales consideraciones en la selección de los métodos y equipo de remoción. Los métodos se eligen con base en la pérdida de carga, requerimientos de espacio, topografía, tipo de equipo utilizado en la planta y consideraciones económicas. Algunos desarenadores se emplean para controlar la velocidad del agua residual que entra a la planta. Estos se pueden dividir básicamente en tres tipos: de velocidad controlada, aerados y de nivel constante.

##### 2.2.2.2.1 Desarenadores con control de velocidad.

La arena en el agua residual tiene una gravedad específica entre 1.5 a 2.7, mientras que la materia orgánica de 1.02. Por ello, la sedimentación diferencial es un mecanismo seguro para la separación de la materia orgánica.

Los desarenadores con control de velocidad son canales de sedimentación largos y estrechos, generalmente se cuenta con un mínimo de dos canales para fines de limpieza (Fig. 2.11). En ocasiones, se emplean varios canales para el control de la velocidad pero se puede lograr un arreglo más económico y eficiente usando secciones de control a la entrada y salida del mismo. Las secciones de control incluyen vertedores

proporcionales, Sutro, canales Parshall, canal parabólico, etc. Estas secciones mantienen la velocidad constante del canal a grandes intervalos de flujo.

Los vertedores proporcionales tipo Sutro, mantienen una velocidad constante al variar la profundidad, pero como requieren una descarga libre están sujetos a grandes pérdidas de carga. No cuentan con espacio para equipo colector de arena. Se localizan a 150 o 300 mm después del desarenador. Sus principales ventajas son el mantener una velocidad constante y la posibilidad de utilizar desarenadores sencillos. Por otro lado, sus desventajas consisten en que el cambio de velocidades en el fondo del tanque es mayores que la velocidad superior generando grandes pérdidas de carga.

Las secciones de control con lados verticales paralelos producen menos pérdidas de carga. Teóricamente, éstas requieren un canal de sección transversal parabólico, para que la velocidad permanezca constante al variar la profundidad. Si el desarenador se localiza antes de un canal Parshall, éste deberá instalarse a 150 o 300 mm, previendo el depósito, arrastre y resuspensión de las partículas de arena.

Un canal Parshall ofrece una velocidad transversal uniforme, medición de flujo y fácil instalación al usar equipo prefabricado. Sus desventajas consisten en pérdidas de carga en más de un 70% cuando están sumergidos. Normalmente, los desarenadores con control de velocidad son de limpieza manual, pero se recomienda la limpieza mecánica para flujos mayores de 3 800 m<sup>3</sup>/d. Los equipos mecánicos para la extracción de la arena sedimentada son: transportador de cangilones o rascadores (plantas pequeñas), y elevadores de cadena continua con cangilones o transportador de tornillo helicoidal (plantas grandes).

Otro vertedor muy usado es el proporcional que también mantiene una velocidad constante.



Fig. 2.11 Planta y sección longitudinal de un desarenador de doble canal con depósito.

#### 2.2.2.2.2 Desarenadores aerados.

Este tipo de desarenadores se emplean para una remoción selectiva de arena. Son similares a los tanques de aeración con flujo en espiral. La corriente en espiral se genera por la acción de difusores de aire instalados en uno de los lados del tanque, a una altura de 0.6 a 0.9 m a partir del fondo.

Las partículas de arena presentes en el agua residual, al entrar al desarenador sedimentan con diferente velocidad ya que ésta depende del tamaño, gravedad específica y la velocidad de rotación o agitación en el tanque. La rapidez de difusión del aire y la forma del tanque son parámetros importantes que deben ser considerados ya que gobiernan la agitación y la sedimentación de las partículas. La rapidez del aire se ajusta para crear una velocidad, cercana al fondo, lo suficientemente baja para que sedimente la arena: mientras tanto, las partículas orgánicas, que son menos pesadas, son arrastradas fuera del tanque.

Generalmente, los desarenadores aerados, se diseñan para eliminar partículas de arena, con gravedad específica de 2.5 retenidas en un tamiz de malla 0.65 (diámetro de 0.21 mm). Asimismo, pueden eliminar, eficientemente, partículas más pequeñas al reducir la velocidad del aire.

El sistema debe estar controlado hidráulicamente ya que de no hacerlo la operación será deficiente. Este problema se soluciona colocando una mampara longitudinal cerca de la cámara de colección de arena. La Figura 2.12 muestra un desarenador aerado.

Algunas de las ventajas de éste tipo de unidades son:

- Puede utilizarse para adicionar reactivos, mezclando y floculando la materia contaminante antes del tratamiento primario.
- Al ser aerada el agua residual, se reduce el olor y se remueve parte de la  $DBO_5$  y SS. Presenta una pérdida de carga mínima.
- Controlando la rapidez de aeración, se pueden alcanzar remociones de arena por arriba del 90%.
- Permite la instalación de un desnatador o de un despumador.
- Mediante el control de la difusión del aire, puede eliminarse arena de un tamaño en específico.



Fig. 2.12 Desarenador aerado.

La tabla 2.6 señala los parámetros y rangos típicos de operación de los desarenadores aerados.

Tabla 2.6 Desarenadores aerados.

Parámetro	Rangos típicos de operación
Velocidad transversal a la superficie	2 - 2.5 ft/seg (0.6 - 0.8 m/s)
Relación profundidad: ancho	1.5:1 - 2:1
Suministro de aire	3 - 5 cu ft/min/ft de largo (4.6 - 7.7 L/m·s) 0.04 - 0.06 cu ft/gal (0.3 - 0.4 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
Tiempo de retención	3 - 5 min (pico)
Cantidad de arena	1 - 10 cu ft/mil. gal (7.5 - 75 mL/m <sup>3</sup> )
Cantidad de espuma	1 - 6 cu ft/mil. gal (7.5 - 45 mL/m <sup>3</sup> )

### 2.2.2.2.3 Desarenadores cuadrados de flujo horizontal.

Estos desarenadores son propiamente tanques de sedimentación, donde la arena y la materia orgánica sedimentan conjuntamente. Este tipo de desarenadores se controla mediante deflectores ajustables que aseguran una velocidad uniforme transversal al tanque (Fig. 2.13). La pérdida de carga es menor que la correspondiente a los desarenadores aerados. La materia orgánica ligera puede eliminarse antes, durante o después de la remoción de la materia sedimentable.



Fig. 2.13 Tanque desarenador cuadrado.

Las ventajas de los desarenadores de nivel constante son:

- a) Debido a la forma del tanque se puede eliminar el 95 % de la arena siempre que se maneje la concentración y el flujo de diseño.
- b) La arena eliminada del tanque puede ser lavada y drenada con no más del 3 % del peso de la materia putrescible.
- c) No es necesaria una velocidad uniforme del flujo que ingresa.
- d) El equipo no sufre deterioro por abrasión ya que las partes mecánicas se encuentran por arriba del nivel del agua.

La principal desventaja radica en la dificultad para obtener una distribución uniforme del flujo cuando se usan deflectores de paleta.

#### 2.2.2.2.4 Desarenadores de vórtice.

Este tipo de desarenadores trabaja con un flujo tipo vórtice y aprovecha las fuerzas centrífugas y gravitacional (Fig. 2.14). El agua a ser tratada se introduce en forma tangencial cerca del fondo y sale en forma tangencial a través de la abertura en la parte superior del tanque. Dentro de la unidad se crea un vórtice libre en el cual el producto de la velocidad tangencial por el radio es constante. La fuerza centrífuga a la que es sometida una partícula en este campo de flujo es igual al cuadrado de la velocidad dividida entre el radio, mientras que, la fuerza centrífuga es inversamente proporcional al radio. Por lo anterior una reducción de 5 veces el radio, se traduce en un incremento de 125 veces de la fuerza centrífuga.

Dada la magnitud de la fuerza centrífuga cerca del punto de descarga, algunas de las partículas, de acuerdo con su tamaño, densidad y fuerza de arrastre, son retenidas dentro del vórtice; mientras que otras son arrastradas fuera de la unidad. En resumen, la arena se queda en la unidad y las partículas orgánicas salen con el efluente. La arena se extrae por la abertura del fondo de las unidades a bien se succiona mediante una bomba de aire.

Comercialmente se encuentran diversas variantes de desarenadores de vórtice.

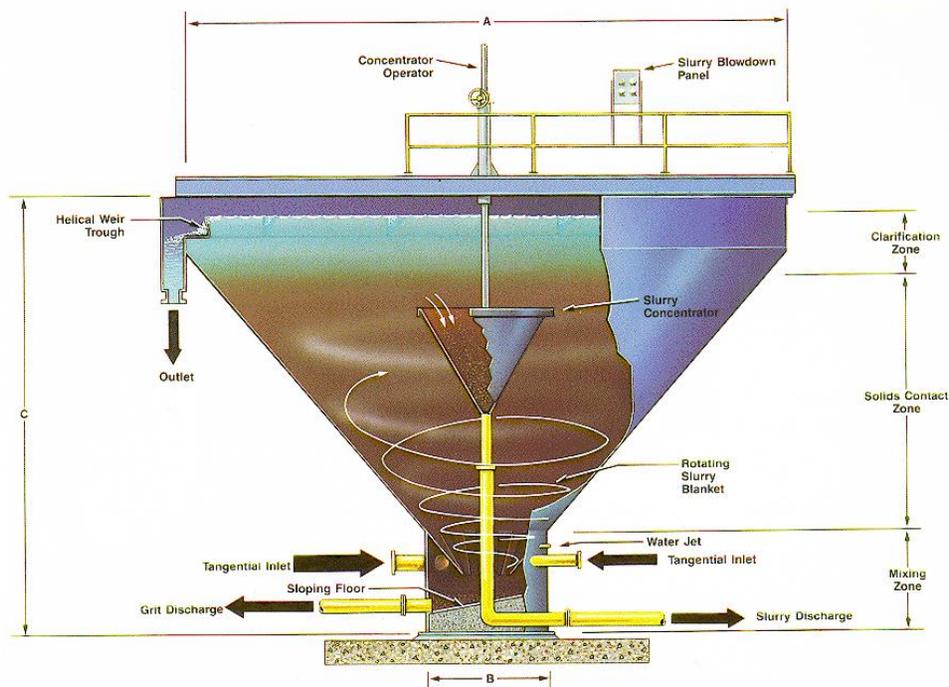


Fig. 2.14 Desarenador de vórtice.

#### *12.2.2.3 2.2.2.3 Colección y remoción.*

La arena eliminada por los desarenadores puede estar libre de materia orgánica o tener un alto porcentaje de ella. El método para la disposición final debe tomar en cuenta, no sólo la cantidad de arena sino también la cantidad de materia orgánica, especialmente la fracción que es fácilmente putrescible. La arena sin lavado contiene 50% o más de material orgánico, mientras que la lavada tiene un máximo del 3% de orgánicos putrescibles.

El método más sencillo para la remoción de arena en una cámara horizontal de limpieza manual, es paleando y transportándola en carretillas. En otros casos, se crean velocidades artificiales que junto con una pendiente pronunciada llevan la arena hacia un punto central para su remoción. Se usan también bombas de aire para succionar la arena.

La colección mecánica de arena en los desarenadores con control de velocidad y aerados se realiza a través de transportadores tubulares y de tomillo, colectores y elevadores de cangilones, bombas de aire o alguna combinación de éstos. Los transportadores tubulares generan una arena de buena calidad, esto es con poca cantidad de materia orgánica debido a un lavado adicional instalado en la estructura del transportador.

#### *12.2.2.4 2.2.2.4 Cantidad de arena.*

La cantidad de arena varía fuertemente dependiendo de (1) tipo de sistema de colección (separado o combinado), (2) condiciones climáticas, (3) tipo de suelo, (4) condición y calidad de las alcantarillas, (5) tipo de agua residual, (6) uso de desmenuzadores, y (7) proximidad con bancos de arena. La cantidad de arena y basura varía de 5 a 200 m<sup>3</sup> /10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. El valor típico es 30 m<sup>3</sup>/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

#### *12.2.2.5 2.2.2.5 Disposición de la arena.*

Los métodos para la disposición final de la arena incluyen rellenos sanitarios, lagunas, suelos extensos e incineración. Debido a que la arena es estructuralmente estable, ésta no causa problemas al disponerse en el suelo. Por otro lado, la incineración es en ocasiones mejor que enterrar y cubrir la arena proveniente de una planta de tratamiento, siempre y cuando, no se dañe al medio ambiente.

### 12.2.3 2.2.3 Problemas comunes y acciones correctivas en los desarenadores.

Tabla 2.7 Guía de problemas comunes y acciones correctivas de los desarenadores aerado.

Indicadores / observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Exceso de arena en los colectores.	Unidad operando a velocidades excesivas.	Velocidad de entrada.	Reducir la velocidad de entrada.
Demasiada vibración en el desarenador ciclónico.	Obstrucción en el orificio inferior.  Obstrucción en el orificio superior.	Flujo del orificio inferior.  Demasiado flujo en la salida del orificio inferior.	Remover la obstrucción.  Reducir el flujo.
Olor a huevo podrido en la cámara de arena.	Formación de sulfuros de hidrógeno.	Pruebas para depósitos de lodos, sulfuros disueltos y totales.	Lavar la cámara con hipoclorito.
Arena acumulada en la cámara.	Basura sumergida.    Velocidad de flujo demasiado baja o cadena rota.	Inspeccionar la cámara en relación a la basura.  Verificar el equipo.	Lavar la cámara diariamente. Remover la basura.  Reparar el equipo.
Corrosión del metal o concreto.	Ventilación inadecuada.	Ventilación y pruebas para depósitos de lodos, sulfuros disueltos y totales.	Incrementar la ventilación, realizar reparaciones anuales y aplicar pintura.
La arena removida es de color gris, huele, y se siente grasosa.	Presión incorrecta en el desarenador ciclónico.   Inadecuada velocidad de flujo del aire.	Presión de descarga en el desarenador ciclónico.  Verificar la velocidad de flujo del aire.	Mantener la presión del ciclón entre 4 y 6 psi (28 and 41 kPa) gobernado por la velocidad de la bomba. Aceite especificado en el manual O&M.  Incrementar la velocidad en la cámara de arena. (1 ft/seg (0.3 m/s) generalmente óptimo a menos que las estrategias de operación llamadas sean velocidades bajas con lavados.)



	Velocidad del sistema de remoción de arena demasiado baja.	Use tinta u objetos flotantes para verificar la velocidad.	
Baja turbulencia en la superficie en la cámara.	Difusores cubiertos con trapos o arena.	Difusores.	Limpie los difusores y verifique las rejillas como medida preventiva.
Tasa baja de recuperación de arena.	Erosión del fondo por velocidad excesiva.  Demasiada aereación.	Velocidad.  Aereación.	Mantenga la velocidad cerca de 1 ft/seg (0.3 m/s).  Reduzca la aereación.  Incremente el tiempo de retención usando más unidades o reduciendo el flujo de la unidad.
Aumento de gasto en la cámara desarenadora.	Problema en la bomba.	Bombas.	Ajuste los controles de las bombas y controle los influentes y las infiltraciones.
Estado séptico con grasa y burbujas de gas en la cámara desarenadora.	Lodos debajo de la cámara.	Fondo de la cámara desarenadora.	Lavar diariamente la cámara. Remover la basura.  Reparar las catarinas y bandas.



## 13 TRATAMIENTO PRIMARIO

Algunas de las impurezas del agua por su tamaño y densidad pueden separarse por efecto de la fuerza de gravedad, es decir, el peso de las partículas es tal que éstas se depositarán en el fondo del recipiente en el que se encuentra el agua.

La cantidad de sólidos contenidos en las aguas residuales es generalmente muy pequeña, menos de 0.1 por ciento en peso, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición. Los sólidos pueden estar contenidos en las aguas disueltas, flotando o en suspensión. La sedimentación se emplea para eliminar la fracción de sólidos sedimentables de los sólidos en suspensión (60% de los sólidos que son perceptibles a simple vista en el agua).

Se consideran sólidos sedimentables a las partículas que por su tamaño y peso sedimentan en una hora. Los sólidos sedimentables de las aguas residuales domésticas están constituidos aproximadamente de un 75% de sólidos orgánicos y por un 25% de inorgánicos. Generalmente, la cantidad de sólidos sedimentables se expresa en mililitros de sólido por litro de agua residual pero también se da en partes por millón, en peso.

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. A continuación se analizará el proceso de sedimentación y se describirán los principales tipos de sedimentadores.

### 13.1 3.1 Proceso de sedimentación.

Los diferentes tipos de sólidos en suspensión presentan características de decantación significativamente distintas. El desarrollo y aplicación de la sedimentación para la clarificación de un agua o agua residual, debe por tanto, estar basada en el entendimiento del proceso y de las variables que pueden modificar su eficiencia. Las partículas de una suspensión decantan en formas distintas, según la concentración de la suspensión y las características de las partículas. Fitch (1958) describió cuatro tipos distintos de sedimentación que reflejan el efecto de la concentración de la suspensión y las propiedades floculantes de las partículas. La "clarificación clase-1" es la decantación de una suspensión diluida que tiene poca o nula tendencia a flocular. La decantación de una suspensión diluida de partículas floculantes se le denomina "clarificación clase-2". Cuando las partículas están suficientemente cerca unas de otras, las fuerzas entre partículas son capaces de mantenerlas en

posiciones relativamente fijas con respecto unas de otras. Como resultado, las partículas sedimentan como una masa y no como partículas discretas. A este tipo de clarificación se le designa como "decantación en bloque". Cuando las partículas entran en contacto unas con otras, la estructura resultante de la masa compacta ejerce una compresión sobre las capas inferiores, a esta acción se le denomina "compresión".

Se han desarrollado múltiples ecuaciones que permiten describir el fenómeno de sedimentación de partículas, de entre las cuales destacan la ley de Stokes y la ley de Newton, las desarrolladas por Fair, Geyer y Okum y las de Hansen y Camp.

La decantación de una partícula discreta no-floculante puede describirse por las ecuaciones de la mecánica clásica. En este caso la presencia de otras partículas no influye en la sedimentación y ésta sólo es función de las propiedades del fluido y de la partícula.

La Figura 3.1 ilustra la decantación por gravedad de una partícula. La fuerza de la gravedad es  $F_w$ , la fuerza de empuje del fluido es  $F_B$  y la fuerza de arrastre es  $F_D$ . Esta última es función de la aspereza, tamaño, forma y velocidad del fluido.

Los sólidos en suspensión de las aguas residuales domésticas e industriales, en general, no pueden describirse como partículas discretas de peso específico conocido. En general estos sólidos comprenden una amplia gama de partículas de diferentes tamaños y características superficiales. En un agua residual, las partículas más grandes decantan con velocidades mayores que las partículas más finas. El viento, perturbaciones hidráulicas, corrientes convectivas entre otros, producen efectos turbulencia dentro del fluido, y por tanto, aumentan el contacto de partículas. Si cualesquiera de las partículas que interaccionan tienen características aglomerantes, se tendrá un crecimiento de las partículas individuales a mayores tamaños. Cuanto mayor sea la profundidad del tanque, mayor es la oportunidad de contacto entre partículas. Por tanto, para la clarificación clase-2, la eliminación depende de la profundidad del tanque así como de las propiedades del fluido y partículas.

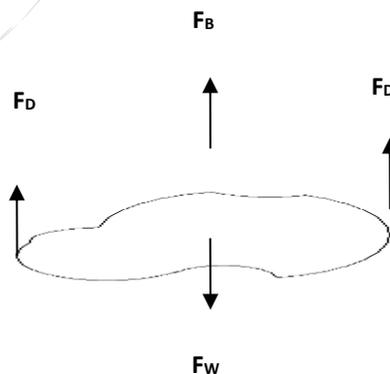


Fig. 3.1 Diagrama de cuerpo libre para la decantación de una partícula.

En la sedimentación simple de las aguas negras se obtiene una reducción del 50 al 60% de la materia en suspensión y una reducción de la materia orgánica del 30 al 35%.

Además de la función primaria de los sedimentadores de eliminar la materia decantable en suspensión, en el diseño se debe considerar un sistema que permita recoger y descargar los lodos que se generan. Un tanque podría proporcionar suficiente capacidad para la clarificación, pero no efectuar una eliminación adecuada de los lodos, en cuyo caso su eficiencia decrece.

Otra función importante de un sedimentador, es la de concentrar los lodos, de manera que se eliminen con el mayor contenido de sólidos posible para facilitar el posterior manejo, tratamiento y disposición.

Una fracción de la materia en suspensión de las aguas residuales está compuesta de sólidos de baja densidad que flotan más que decanta. A estos sólidos se les asigna el nombre de espumas o natas. Otros líquidos insolubles como las grasas o aceites tienden a flotar cuando se reduce la turbulencia del flujo. En estos casos, el sedimentador debe estar provisto de un sistema que permita recoger y evacuar las espumas, grasas y aceites.

Generalmente, se recomienda que el diseño del tanque se base sobre los resultados de los experimentos decantación-velocidad; sin embargo, en un buen número de ocasiones los sistemas de tratamiento de aguas residuales se proyectan en forma conjunta con la fuente que generará las descargas de aguas residuales, por lo que los experimentos no pueden efectuarse. Por ello es útil conocer las velocidades de decantación de diferentes sólidos. En la Tabla 3.1 se ejemplifica el tiempo de sedimentación de algunos materiales.

Tabla 3.1 Velocidades de decantación de diferentes sólidos.

Naturaleza del sólido	Peso específico	Velocidad de decantación (cps)	Tiempo de sedimentación ( a H - 1m )
Limo y arcilla	2.65	$\leq 7 \times 10^{-3}$	3 h 58 min.
Flóculo de aluminio y fierro	1.002	$8.3 \times 10^{-2}$	20 min.
Precipitados de carbonato y calcio	1.200	$4.2 \times 10^{-2}$	40 min.
Materia orgánica residual primaria	1.001	$4.2 \times 10^{-2}$	40 min.
Licor mezclado	1.005	$2.0 \times 10^{-1}$	8 min. 20 s

Fuente: Weber, 1979.

## **13.2 3.2 Tipos de sedimentadores.**

Los tipos de tanques de sedimentación empleados en las plantas de tratamiento son rectangulares o circulares con dispositivos mecánicos para la recolección de lodos. La selección del tipo de tanque para una aplicación dada depende del tamaño de la instalación, de las disposiciones y reglamentos de los organismos locales de control, de las condiciones locales del terreno y de la estimación de los costos entre otros. Se deberá disponer de dos o más tanques con objeto de que el proceso permanezca en funcionamiento mientras que uno de ellos esté fuera de servicio por reparación y mantenimiento. En plantas grandes, el número de tanques viene determinado principalmente por las limitaciones del tamaño.

Los equipos principales en estos tanques son las rastras giratorias con puente fijo o móvil. La función principal de las rastras 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.

La operación es muy sencilla, generalmente son automáticos; se debe tener cuidado en el arranque del sedimentador, 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 de sépticos y crecimiento o desaparición del manto de lodos.

Este tipo de rastra colectora de lodos de tipo giratorio 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.

### **13.2.1 3.2.1 Sedimentadores primarios y secundarios**

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

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

### **13.2.2 3.2.2 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 variables hace que exista una gran variedad en el diseño de los tanques.

La mayor parte de estos tanques tienen una profundidad de 2m, pero para lodos activados esta profundidad es mayor. La relación largo a ancho generalmente está entre 1.5 y 15: 1. Para prevenir cortocircuitos se tienen anchos mínimos de 3m (Fig. 3.2), y relación largo-ancho mínima de 3:1.

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 rastra a un extremo donde se han construido tolvas y se extrae por medios mecánicos o hidráulicos.

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

Las relaciones geométricas comunes para las unidades rectangulares son (Tabla 3.2):

Tabla 3.2 Relaciones geométricas para unidades rectangulares.

Longitud: ancho	3: 1 o más
Ancho : profundidad	1:1 a 2.25:1



Fig. 3.2 Esquema de un sedimentador rectangular.

Los sólidos sedimentables son eliminados generalmente por medio de transportadores de cadena o rastras, el método más común en Europa es el de puentes viajeros. La experiencia ha demostrado que el mecanismo para mover el puente con las rastras requiere menos mantenimiento que los transportadores de cadena.

Las rastras mueven el lodo por un canal central, el cual conduce a una tolva localizada al final del canal. Este depósito puede almacenar el lodo que se recolecta en un periodo de 6 a 12 horas y en casos extremos hasta 24 horas. La purga de lodos se efectúa por lo menos una vez al día para evitar que se presenten condiciones de anaerobiosis.

Las espumas se colectan al final del tanque por medio de brazos desnatadores que se mueven sobre la superficie del líquido. La espuma es empujada por los brazos hasta un punto en el que es atrapada por los deflectores antes de su eliminación. La nata también puede ser arrastrada mediante rociado con agua a presión y recogerse empujada manualmente por medio de una placa inclinada, o bien puede eliminarse hidráulica o mecánicamente, siendo varios los medios conocidos para llevarlo a buen término.

13.2.2.1 3.2.2.1 Rastra de cadenas.

Las rastras de cadenas (Fig. 3.3 y 3.4) 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 colectadas 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 desfavorable en costos.

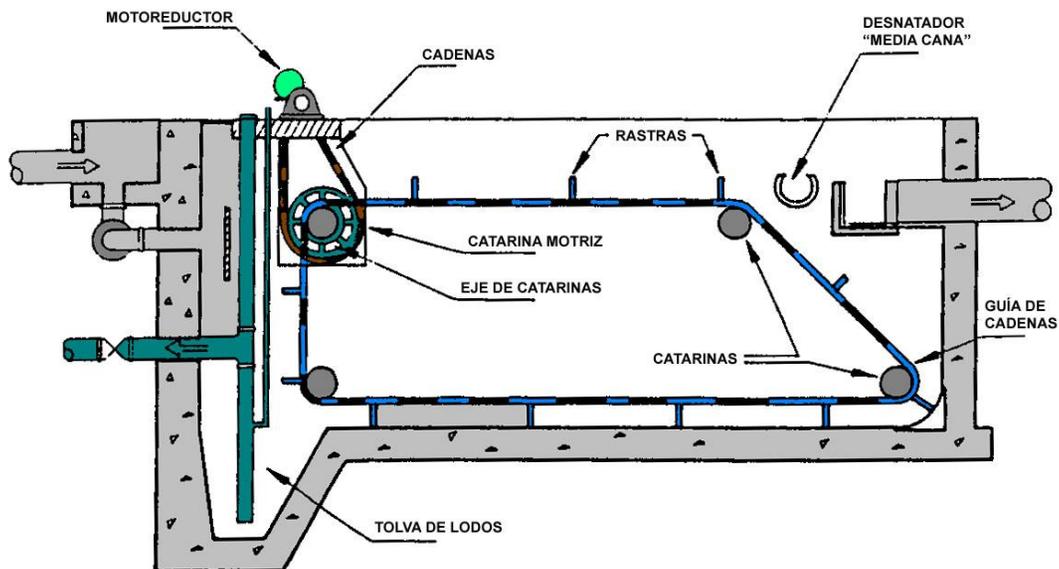


Fig. 3.3 Sedimentador rectangular con rastras y cadenas con recolección de natas

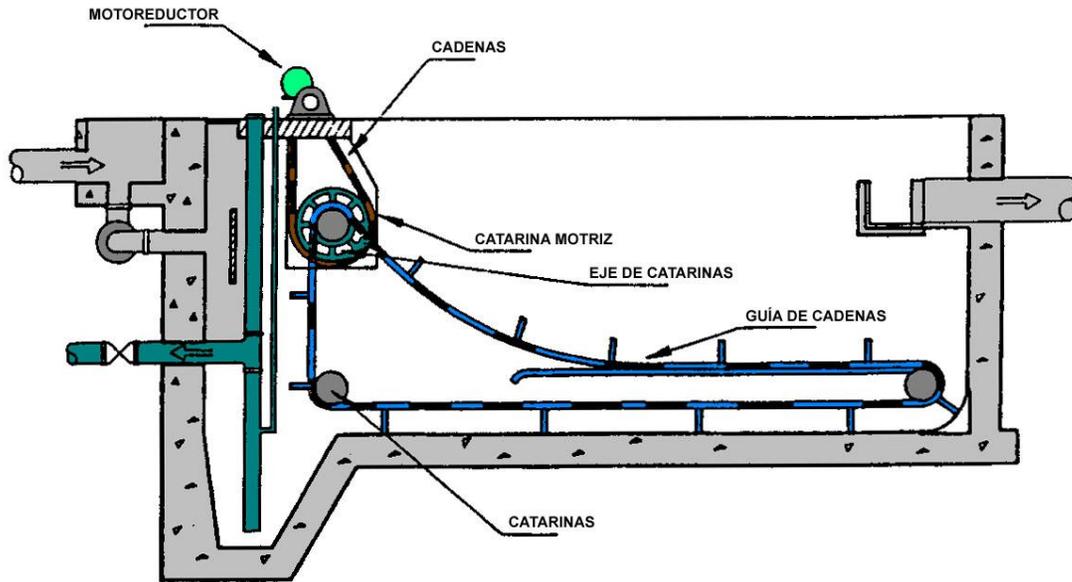


Fig. 3.4 Sedimentador rectangular con rastras cadenas sin remoción de natas.

### 13.2.3 3.2.3 Sedimentadores circulares.

Las unidades circulares son usadas como sedimentadores primarios o secundarios y para el espesamiento de los lodos. En este tipo de tanque el modelo de flujo es radial. Para generar este modelo, el agua residual se introduce por el centro o por la periferia del tanque (Fig. 3.5).

Los diámetros de las unidades circulares varían en un amplio rango (3 a 60 m). La profundidad del agua en el tanque cuando se emplea como sedimentador primario es de 2 a 3 m, y cuando se usa como secundario y espesador, el intervalo es de 3 a 4 m o más.

La pendiente del piso más común para un sedimentador, primario o secundario, con mecanismo de rastras es de 1:12. Cuando se usa el tanque como espesador, la pendiente es de 1:12 o más. En el centro del tanque, la profundidad es mayor ya que se trata de un depósito para la compactación de los lodos, con un volumen suficiente para almacenar a los lodos recolectados en periodos de 2 a 4 horas.

La remoción de los lodos en los tanques circulares es por rastras o succión. Las unidades provistas con rastras son empleadas principalmente para el manejo de lodo primario en tanques con diámetros menores de 15 m.

Las unidades con succionadores se utilizan para manejar grandes cantidades de lodo. Las rastras o succionadores son instalados y soportados en un pilar o puente. El mecanismo por puentes se emplea en tanques con diámetros menores de 15 m, mientras que el de pilares se utiliza para diámetros mayores. El uso de mecanismos en los tanques de sedimentación final es necesario para prever condiciones adversas en la operación así como la presencia de material flotante en el efluente.

Los desnatadores y/o desespumadores en los tanques de sedimentación colectan las natas o espuma en forma radial a lo largo de la periferia y depositándolos en canales para su disgregación mediante la adición de agua. El desnatador o desespumador se mueve de acuerdo con el mecanismo para la recolección de los lodos (Fig. 3.6).



Fig.3.5 Sedimentadores circulares



Fig.3.6 Charola de natas.

### 13.2.4 3.2.5 Puentes viajeros.

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 desnatador.

El puente viajero con rastra (Fig. 3.7) 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.



Fig. 3.7. Puentes viajeros.

### 13.2.5 3.2.6 Configuración del sistema.

Los tanques de sedimentación pueden ser primarios o secundarios dependiendo de la función que realicen y el lugar donde se ubiquen. La geometría del tanque es importante, su rendimiento está relacionado con sus partes componentes. Un buen diseño se basa en el conocimiento de la hidráulica.

Es necesario tener presente que el tamaño del sedimentador es función del caudal y de las velocidades de decantación de las partículas; sin embargo, el equipo disponible para la recolección y eliminación de lodos puede condicionar las dimensiones.

En el caso de los sedimentadores, el tiempo de retención hidráulico no es el parámetro de diseño de mayor importancia; sin embargo, en la operación de sistemas de tratamiento biológico de tipo aerobio se requiere mantener una cantidad de microorganismos en el reactor biológico y para ello se recircula una cantidad de los lodos retenidos en el sedimentador que trata su efluente. En este caso es recomendable no exceder un tiempo de retención hidráulico de 3.5 horas, ya que de otra manera los microorganismos pierden su actividad por la falta de oxígeno.

### 13.3 3.3 Problemas comunes y acciones correctivas.

Tabla 3.3 Guía de problemas y acciones correctivas para sedimentación primaria.

Indicadores / observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Lodo flotante	Lodo descompuesto en el tanque.  Rastras con desgaste o dañadas.  Recirculación del exceso de lodos activados bien nitrificados.  Taponamiento en la línea de lodos.  Daño o ausencia de las mamparas de entrada.	Inspeccionar las rastras.  Nitratos en efluente.  Salidas de la bomba de lodos.  Mamparas.	Remover los lodos con frecuencia o a una velocidad más alta.  Reparar o remplazar como sea necesario.  Variar el periodo de regreso de lodos, o moverlos a punto de reciclaje de lodos residuales.  Lavar o limpiar línea.  Reparar o remplazar.
Aguas residuales negras con olores sépticos o lodos.	Colectores de lodos gastados o dañados.  Incorrecta remoción de lodos de los ciclos de bombeo.	Inspeccionar los colectores de lodos.  Densidad del lodo.	Reparar o remplazar como sea necesario.  Incrementar la frecuencia y la duración de los ciclos de las

	<p>Inadecuado pretratamiento de desechos industriales orgánicos.</p> <p>Descomposición de las aguas residuales en el sistema.</p> <p>Sobrenadante del digestor con altas cargas.</p> <p>Taponamiento en la línea de recolección de lodo.</p> <p>Sitio de disposición sépticos.</p> <p>Tiempo de circulación insuficiente para los colectores de lodos.</p>	<p>Prácticas de pretratamiento.</p> <p>Tiempo de retención y velocidad baja en las líneas de recolección.</p> <p>La calidad y cantidad del sobrenadante del digestor.</p> <p>Salidas de la bomba de lodos.</p> <p>Muestreo aleatorio de camiones para transporte de lodos.</p> <p>Revisar diariamente los operadores.</p>	<p>bombas hasta que baje a un valor recomendable.</p> <p>Desechos preaerados. Tener pretratamiento industrial.</p> <p>Adicionar químicos o aerar en el sistema de recolección.</p> <p>Mejorar la digestión de lodos para la obtención de mejor calidad del sobrenadante. Reducir o postergar el retiro hasta mejorar la calidad. Seleccionar el sobrenadante de mejor calidad de la otra zona del digestor.</p> <p>Limpiar la línea.</p> <p>Regular o limitar el sitio de disposición.</p> <p>Incrementar el tiempo de circulación o la circulación continua.</p>
<p>Exceso de nata.</p>	<p>Remoción inadecuada frecuente.</p> <p>Contribuciones de los desechos industriales pesados.</p> <p>Banda de neopreno gastada o dañada.</p>	<p>Velocidad de remoción de la nata.</p> <p>Desechos del influente.</p> <p>Bandas de neopreno.</p> <p>Alineación.</p>	<p>Remover frecuentemente la nata.</p> <p>Limitar las contribuciones de los desechos industriales.</p> <p>Limpiar o reparar las bandas de neopreno.</p>

	<p>Alineación inadecuada del desnatador.</p> <p>Profundidad inadecuada de las mamparas para las natas.</p>	<p>Mampara de derivación de la nata.</p>	<p>Ajustar la alineación.</p> <p>Incrementar la profundidad de las mamparas.</p>
<p>Lodo difícil de remover de las tolvas.</p>	<p>Arena excesiva, arcilla u otro material fácil de compactar.</p> <p>Velocidad baja en las líneas de extracción.</p> <p>Tubería o bomba obstruida.</p>	<p>Operación en el sistema de remoción de arena.</p> <p>Velocidad de remoción de lodos.</p>	<p>Mejorar la operación de las unidades de remoción de arena.</p> <p>Incrementar la velocidad en las líneas de extracción de lodos.</p> <p>Verificar la capacidad de las bombas.</p> <p>Destapar las tuberías y bombear lodos con mayor frecuencia.</p>
<p>Bajo contenido de sólidos en los lodos.</p>	<p>Sobrecarga hidráulica.</p> <p>Corto circuito a través de los tanques.</p> <p>Sobrebombeo de lodos.</p>	<p>Gasto influente.</p> <p>Uno de trazadores.</p> <p>Frecuencia y duración de los ciclos de bombeo de lodos; concentración de sólidos suspendidos.</p>	<p>Mejorar la distribución de flujo en todos los tanques.</p> <p>(Ver corto circuitos).</p> <p>Reducir frecuencia y duración de ciclos de bombeo.</p>
<p>Corto circuito.</p>	<p>Vertedores desnivelados.</p> <p>Mamparas de entrada dañadas o perdidas.</p>	<p>Nivelación de vertedores.</p> <p>Mamparas dañadas.</p>	<p>Cambiar y/o nivelar vertedores.</p> <p>Reparar o reemplazar mamparas.</p>
<p>Cambio de flujos.</p>	<p>Programación inadecuada de las bombas.</p>	<p>Ciclo de bombas.</p>	<p>Modificar ciclo de bombeo.</p>
<p>Sedimentación excesiva en el canal de entrada.</p>	<p>Velocidad demasiado baja.</p>	<p>Velocidad.</p>	<p>Incrementar la velocidad o agitar con aire o agua para prevenir la descomposición de la materia orgánica.</p>

Baja remoción de sólidos suspendidos.	<p>Sobrecarga hidráulica.</p> <p>Corto circuito.</p> <p>Prácticas inadecuadas de remoción de lodos.</p> <p>Flujos de recirculación.</p> <p>Desechos industriales.</p> <p>Corrientes de velocidad debidas al viento o a la temperatura.</p>	<p>Gasto.</p> <p>Ver corto circuito.</p> <p>Observar la duración del bombeo y los niveles de lodo.</p> <p>Registros de calidad y cantidad.</p> <p>Muestreo del influente.</p> <p>Registrar el viento y la temperatura del agua residual.</p>	<p>Use tanques disponibles, disminuya gasto pico, agregue químicos.</p> <p>Ver corto circuito.</p> <p>Bombeo frecuente y consistente.</p> <p>Eliminar desechos industriales que modifiquen la sedimentación.</p> <p>Eliminar flujos de tormenta, instalar barreras rompevientos.</p>
Corrosión excesiva.	Aguas sépticas.	Color y olor de aguas residuales.	Pintar o cubrir con pinturas anticorrosivos.

Tabla 3.4 Guía para el mantenimiento de sedimentadores primarios.

<b>Indicadores / observaciones</b>	<b>Causa probable</b>	<b>Verificación o monitoreo</b>	<b>Soluciones</b>
Operación errática del mecanismo colector de lodos.	<p>Catarinas rotas, sistema dañado.</p> <p>Trapos y basura atrapados en el sistema colector.</p> <p>Excesiva acumulación de lodos.</p> <p>Programa de mantenimiento preventivo inadecuado.</p>	<p>Catarinas y sistema colector.</p> <p>Sistema colector.</p> <p>Sondear el fondo del tanque.</p>	<p>Reparar o remplazar las partes dañadas.</p> <p>Remover trapos y basura.</p> <p>Incrementar la frecuencia de bombeo de lodos.</p> <p>Programar inspección anual del tanque.</p>

<p>Cadenas rotas y falla frecuente de engranes.</p>	<p>Tamaño incorrecto de engranes y mala alineación de brazos desnatadores.</p> <p>Formación de hielo en muros y superficies.</p> <p>Excesiva carga de lodos sobre las catarinas.</p> <p>Programa de mantenimiento preventivo inadecuado.</p>	<p>Tamaño de engranes y alineación de brazos desnatadores.</p> <p>Inspeccionar muros y superficies.</p> <p>Carga de lodos.</p>	<p>Realignar brazos y cambiar engranes.</p> <p>Remover o romper la formación de hielo.</p> <p>Operar el sistema colector por periodos mayores y/o remover el lodo con mayor frecuencia.</p> <p>Drenado anual para la inspección del tanque.</p>
<p>Corrosión excesiva.</p>	<p>Aguas residuales sépticas.</p>	<p>Color y olor del agua residual.</p>	<p>Utilizar pintura y cubiertas anticorrosivas.</p>
<p>Ruido de las cadenas.</p>	<p>Partes móviles rozan con partes estáticas.</p> <p>La cadena no está fija en el engrane.</p> <p>Pérdida de cadena.</p> <p>Falta de lubricación.</p> <p>Ensamble inadecuado y desalineado.</p> <p>Partes desgastadas.</p>	<p>Alineación.</p> <p>Lubricación.</p> <p>Alineación y ensamble.</p>	<p>Tensar y alinear las cadenas.</p> <p>Remover material que interfiera el funcionamiento.</p> <p>Reemplazar con partes correctas.</p> <p>Ajustar la cadena con la tensión recomendada.</p> <p>Lubricar correctamente.</p> <p>Corregir la alineación y ensamblado del mecanismo.</p> <p>Reemplazar baleros o cadenas desgastados.</p> <p>Invertir las catarinas antes de reemplazar.</p>
<p>Desgaste excesivo de cadenas</p>	<p>Falta de lubricación.</p> <p>Partes desalineadas o perdidas.</p>	<p>Lubricación.</p> <p>Alineación.</p>	<p>Lubricación adecuada.</p> <p>Alineación y tensión del sistema completo.</p>
<p>Las cadenas brincan los engranes.</p>	<p>La cadena no corresponde al engrane.</p>		<p>Reemplace cadena o engrane.</p> <p>Reemplace la cadena.</p>

	Desgaste de cadena o engrane.  Pérdida de cadena.  Alineación.		Invierta o remplace los engranes.  Tensión.  Alinear catarinas y cadenas.
Cadenas rígidas.	Falta de lubricación.  Corrosión.  Cadenas desalineadas o mal ensambladas.  Desgaste de cadenas y/o engranes.	Lubricación.  Alineación y ensamblado.	Lubricación adecuada.  Limpiar y lubricar.  Alinear correctamente y ensamblar el mecanismo.  Reemplazar cadenas.  Invertir o reemplazar engranes.
Cadenas o engranes rotos en el sistema.	Sobrecarga.  Cadenas que no corresponden a los engranes.  Corrosión.  Desalineación.  Interferencias.	Gasto influente.  Alineación.	Evitar sobrecargas con coples.  Reemplazar cadenas.  Reemplazar o invertir engranes.  Reemplazar partes.  Corregir condiciones de corrosión.  Corregir alineación.  Asegurarse de que no hay sólidos entre las cadenas y dientes de los engranes. Afloje las cadenas.
Fugas en los sellos de aceite.	Falla de los sellos.	Sellos de aceite.	Reemplazar sellos.
Falla de baleros o junta universal.	Uso excesivo.  Falta de lubricación.	Lubricación.	Reemplaza juntas y baleros.  Lubricar juntas y/o baleros.
Ensamble del eje de la bomba de lodos.	Ajuste inadecuado del empaque.		Ajuste el empaque.

Tabla 3.5 Errores comunes en el diseño de sedimentadores primarios y formas para compensarlo.

<b>Defecto</b>	<b>Solución</b>
Flotación pobre de grasa.	Preaeración de las aguas residuales para incrementar la flotabilidad de la grasa.
Exceso de espuma.	Mover el sistema de recolección de espuma lejos de la salida.  Bajar el nivel de la charola desnatadora.
Lodo difícil de remover de la tolva debido a la arena excesiva.	Instalar la cámara desarenadora o eliminar las fuentes de arena entrantes al sistema.
Corto circuito a través del tanque que impide la remoción de sólidos.	Modificar el diseño hidráulico e instalar mamparas apropiadas para dispersar el flujo y reducir las velocidades.
Daños frecuentes en los engranes y catarinas debido al exceso de arena.	Instalar la cámara desarenadora.
Remoción inadecuada de cargas de grasa.	Instalar equipo de flotación o equipo para evacuar grasas.
Condiciones sépticas resultantes de las sobrecargas.	Desviar o proveer alternativas de disposición en otras unidades de proceso de los sobrenadantes que son normalmente recirculados en el tanque de sedimentación.
Corrosión excesiva debido a aguas residuales sépticas.	Recubrir todas las superficies con la pintura adecuada u otro recubrimiento.
Problemas debido a corrientes térmicas en el clarificador.	Instalar el homogenizador de flujo y tanque de mezcla del clarificador.
Pobre remoción de la espuma debido al viento.	Instalar una barrera de viento para proteger los tanques. Modificar el sistema de recolección de acuerdo a la dirección del viento.
Agua residual séptica.	Mejoras hidráulicas de los sistemas de recolección para reducir la acumulación de sólidos.

### 13.4 3.4 Parámetros de calidad del agua y características de los lodos crudos.

Tabla 3.6 Parámetros de calidad del agua que se deben registrar para una sedimentación primaria.

Líquido		Lodo
Influyente primario	Efluente primario	
DBO	DBO	Sólidos
SS	SS	Sólidos volátiles
Sólidos sedimentables	Sólidos sedimentables	pH
pH	pH	
Temperatura		
GyA	GyA	

Tabla 3.7 Características de los lodos crudos de tanques de sedimentación primaria.

Parámetro	Descripción	Comentarios
Textura física	No uniforme, lleno de grumos.	-
Color	Café.	Los colorantes de desechos industriales pueden colorear los lodos, gris oscuro o negro.
Densidad	El contenido de sólidos varía.	Una buena calidad, debe promediar 5% de sólidos.
Olor	Generalmente ofensivo.	Puede tener un poco o nada de olor en presencia de tales de desechos industriales tal como sales metálicas.
Materia volátil	Rango promedio de 70-80% de sólidos secos totales.	Ocasionalmente se puede operar de un 85% y a un 60%. Si es menor del 70%, se esperaría la presencia de arena.
pH	Rango usual de 5.5 a 7.5; valor promedio aproximadamente de 6.5.	Afectado por desechos industriales y septicidad de lodos.
Septicidad	Generalmente no séptico.	Los lodos crudos sépticos son comunes si el agua residual cruda es séptica, los lodos son retenidos en



		tanques demasiado grandes, o por sobrenadantes de baja calidad de los digestores que regresan al sedimentador primario.
Volumen del lodo	De 70 a 700cu ft/mil. gal de agua residual tratada; aproximadamente en promedio de 250 a 350 cu ft/mil. gal.	Volúmenes altos indican que el lodo está demasiado diluido o algunos desechos industriales voluminosos están presentes; volúmenes bajos indican aguas residuales diluidas, eficiencia pobre en los tanques, o generación de lodos en los tanques.
Facilidad de digestión	Normalmente de fácil digestión.	La difícil digestión de sólidos crudos indica desechos industriales dañinos como sales metálicas o materias fibrosas.
Contenido de grasa	Normalmente de 10 a 20 mg/L.	Cifras altas indican residuos industriales como desperdicios de aceite.

Nota: cu ft/mil. gal. x 0.0748 = L/m<sup>3</sup>



### **14.1 4.1. Introducción.**

Las primeras lagunas de estabilización fueron embalses utilizados para el almacenamiento y regulación de agua para riego. En estos embalses se almacenaba el excedente de agua residual para ser utilizada sin tratamiento previo. En el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba substancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales. El primer embalse es el que se realizaron estudios de este tipo fue en el Lago Mitchell, situado en San Antonio Texas, Estados Unidos a principios de este siglo.

Posteriormente se estudio de una manera sistemática los procesos responsables de la depuración realizados en los embalses, para lo que se efectuaron seguimientos de las características físicas, químicas y microbiológicas de lagunas de estabilización situadas en California, Nevada, Texas y Arizona (Estados Unidos) y Lund (Suecia). Estos primeros estudios permitieron establecer las características básicas del funcionamiento de las lagunas de estabilización, y la influencia de varios factores (temperatura, luz, configuración, orientación, forma y tamaño de los estanques, composición del agua residual) sobre el comportamiento de estas plantas depuradoras (Dinges, 1982).

El empleo de lagunas de estabilización como sistemas de depuración de aguas residuales se ha generalizado en todo el mundo. Actualmente existen plantas de tratamiento a base de lagunas en todas las condiciones climáticas, desde los trópicos hasta Alaska. Sólo en Estados Unidos hay más de 5,000 instalaciones operadas por organismos públicos, y un tercio de las plantas de tratamiento municipales son lagunas de estabilización (Middlebrooks y col., 1982). Otros países en los que se utilizan ampliamente las lagunas de estabilización son Alemania, Francia, Canadá, Bélgica, Holanda, Australia, Nueva Zelanda, Israel, India y Brasil.

En México, de acuerdo al Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento, existen actualmente más de 1,000 plantas construidas de las cuales más de la mitad corresponden a lagunas de estabilización.

En cuanto al tamaño de estas plantas de tratamiento, existen en la actualidad una gran variedad de lagunas de estabilización operando correctamente. Aunque a menudo se utilizan para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas o medianas poblaciones (500-20.000 habitantes).

Actualmente se define una laguna de estabilización (Fig. 4.1) como una excavación en el suelo donde el agua residual se almacena para su tratamiento, el cual se realiza mediante la acción simbiótica de las algas y bacterias.



Fig. 4.1 Construcción de una laguna de estabilización.

#### **14.1.1 4.1.1. Características.**

Es un proceso natural de autodepuración en donde se asemejan las condiciones de saneamiento que recibe el agua en un lago.

La estabilización de materia orgánica se realiza mediante la acción simbiótica de bacterias, algas y otros organismos superiores.

Se presentan, procesos físicos de remoción de materia suspendida.

Se efectúan cambios químicos en la calidad del agua que, entre otros aspectos, mantienen las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación, y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables.

Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas, residuales. Por lo tanto, las lagunas de estabilización se consideran y se pueden proyectarse como un método de tratamiento de la materia orgánica y de remoción de los patógenos presentes en el agua residual.

Dependiendo, de la calidad del agua a obtener, las lagunas de estabilización pueden utilizarse solas, combinadas con otros procesos de tratamiento biológico, o bien, entre ellas mismas (sistemas lagunares de tratamiento). Racault, et al, (1993) indican que el 60% de los sistemas que utilizan este método están compuestos por tres lagunas operando en serie y el 35%, de dos. Es frecuente el uso de lagunas para complementar ("pulir") el tratamiento biológico de sistemas de lodos activados y filtros percoladores, por ejemplo.

Los términos "laguna" y "estanque" son generalmente empleados indistintamente. Por laguna debe entenderse un depósito natural de agua. En cambio, un tanque construido para recoger el agua, debe ser considerado como un estanque. Cuando se habla de lagunas o estanques para tratar el agua residual se les agrega el término de estabilización (Fig. 4.2).



Fig. 4.2 Laguna de Estabilización.

Con el fin de evitar confusiones, se entenderá por lagunas de estabilización las construidas mediante excavación y compactación del terreno para el tratamiento de las aguas residuales. Asimismo, los estanques de

estabilización serán aquellos en los que la laguna construida se recubra con concreto o algún, otro material impermeable.

La forma más adecuada de clasificar a las lagunas es en función de la reacción biológica dominante. La estabilización de la materia orgánica se realiza mediante microorganismos que la metabolizan en presencia de oxígeno (aerobios), o bien, por microorganismos fermentativos que lo hacen en ausencia de oxígeno (anaerobios). En este sentido se distinguen los siguientes tres tipos de lagunas.

#### **14.1.2 4.1.2. Clasificación de lagunas.**

**Aerobias.** Son aquellas lagunas donde la estabilización de la materia orgánica soluble se realiza en presencia de oxígeno disuelto., el cual se suministra en forma natural o artificial.

**Anaerobias.** Son aquellas lagunas donde la estabilización de la materia orgánica soluble se realiza en ausencia de oxígeno.

**Facultativas.** Son aquellas lagunas donde la estabilización de la materia orgánica soluble se realiza tanto en condiciones aerobias como anaerobias.

Las condiciones aerobias, estrato superior de la laguna, mientras que en el fondo, se realiza la degradación anaerobia.

**Aeradas.** Son aquellas lagunas de estabilización a las cuales se les han colocado un sistema de aeración para aumentar la concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua a tratar, con el propósito de hacer predominar las bacterias aerobias encargadas de realizar la depuración del agua residual.

**De Maduración o Pulimento.** Son aquellas lagunas aerobias que se ubican como último paso en los sistemas lagunares, se utilizan para remover microorganismos patógenos sin necesidad de adicionar agentes desinfectantes.

### 14.1.3 4.1.3 Ventajas y desventajas.

Las ventajas asociadas con el uso de las lagunas de estabilización como sistema de tratamiento son las siguientes (Shelef y Kanarek, 1995):

Bajo consumo de energía y costos de operación.

Bajo capital de inversión, especialmente en los costos de construcción.

Esquemas sencillos de flujo.

Equipo y accesorios simples y de uso común

Operación y mantenimiento, simple. No requieren equipos de alta tecnología y, por tanto, no es necesario personal calificado para estas labores.

Remoción eficiente de bacterias patógenas, protozoarios y huevos de helmintos.

Amortiguamiento de picos hidráulicos, de cargas orgánicas y de compuestos tóxicos.

Disposición del efluente por evaporación, infiltración en suelo o riego.

En algunos casos, remoción de nutrientes.

Posibilidad de establecer un sistema de cultivo de algas proteicas para la producción de animales (empleando lagunas de alta tasa). ,

Empleo como tanque de regulación de agua de lluvia o de almacenamiento del efluente para reúso.

Las principales desventajas son:

Altos requerimientos de área.

Efluente con elevado contenido de algas que al ser descargado en los cuerpos de agua es objetado, generando grandes controversias por su calidad proteica y su potencial de taponamiento del suelo, si se usa en riego.

Su funcionamiento depende de las condiciones ambientales tales como la temperatura, la irradiación solar, la velocidad del viento, etc., que son propiedades aleatorias.

Generación de olores desagradables y deterioro de la calidad del efluente por sobrecargas de contaminantes y bajo ciertas condiciones climáticas

Contaminación de acuíferos por infiltración, particularmente en lagunas construidas sobre suelos arenosos.

Pérdidas de agua debido a la evaporación e infiltración, que en zonas de escasez pueden ser importantes.



Fig. 4.3 Laguna Facultativa.

## 14.2 4.2 Descripción del proceso.

Un Sistema Lagunar está constituido por una serie de lagunas colocadas en serie, en donde cada una de ellas tiene una función específica.

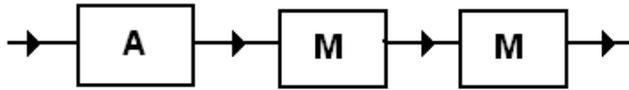


Fig. 4.4 Laguna de maduración.

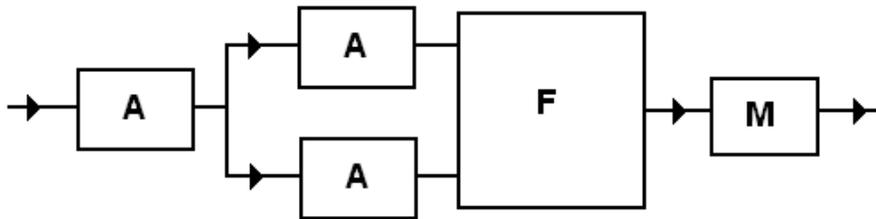
### Arreglos comunes de sistemas lagunares



a) Línea para remoción de patógenos



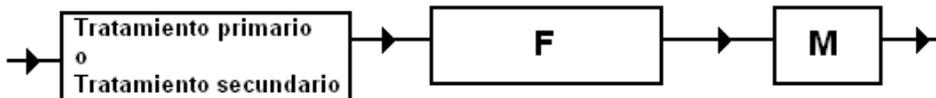
b) Línea francesa



c) Línea para zonas turísticas



d) Línea con laguna aireada



e) Línea con tratamiento antecedente

#### Simbología

**A** Lag anaerobia  
**F** Lag facultativa  
**M** Lag de maduración

Fig. 4.5 Arreglos comunes de sistemas lagunares.

Fuente: Manual de diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Libro II, Proyecto. 3ª. Sección: Potabilización y Tratamiento. Tema Tratamiento. Subtema: Lagunas de estabilización.

## Lagunas Anaerobias

La descomposición de la materia orgánica manera anaerobia se realiza en tres etapas (Mc Inerney y Bryant, 1981); la primera es la hidrólisis y fermentación ácida llevada a cabo por organismos que atacan las sustancias orgánicas y las transforman en ácidos orgánicos, alcoholes y dióxido de carbono. Las bacterias responsables de esta etapa pertenecen a diferentes grupos y pueden ser anaerobias o facultativas estrictas. La segunda etapa es la homoacetogénesis en la cual los productos de la fermentación producidos anteriormente son convertidos en acetato, hidrógeno y CO<sub>2</sub> por un grupo de bacterias denominado “bacterias acetogénicas” productoras obligatorias de hidrógeno u OHPA en inglés. La última etapa llamada metanogénesis es realizada por un grupo de bacterias metanogénicas que son anaerobias estrictas que requieren de potenciales de óxido-reducción inferiores a -330mV. Estas bacterias oxidan los bicarbonatos y el acetato en metano y carbonatos. Este grupo de bacterias son sensibles a variaciones de carga, pH y temperatura. Durante la biodegradación, el 90% de la materia orgánica se transforma en biogás, este proceso depende mucho de la temperatura tanto del agua como del ambiente.

Una laguna anaerobia puede tener una profundidad de 2 a 5 m y recibir cargas orgánicas altas (usualmente mayores de 100 gr de DBO/m<sup>3</sup> d, equivalente a 3,000 kg/ha para una profundidad de 3 m). Las lagunas anaerobias funcionan como tanques sépticos abiertos, siendo su función primaria remover DBO. Estas lagunas trabajan extremadamente bien en climas cálidos; un buen diseño de una laguna anaerobia, deberá asegurar la remoción de alrededor del 60% de la DBO<sub>5</sub> a 20 °C y un máximo de 75% a 25 °C. Los tiempos de retención son cortos: para aguas residuales con una DBO mayor a 300 mg/l, un día es suficiente para temperaturas mayores a los 20 °C. El aspecto físico de estas lagunas es de coloración gris o negro, cuando por efecto de una carga adecuada, presentan condiciones de fermentación del metano. Sletten y Singer (1971) reportan que algunas lagunas diseñadas como anaerobias, en la etapa de operación inicial y con cargas reducidas, no han llegado a establecer condiciones anaerobias, presentan una coloración rosada, siendo esto característico de la presencia de bacterias sulfatoreductoras.

La laguna anaerobia se llena de lodos después de varios años. Dependiendo del período de diseño, se realiza la remoción de lodos. Generalmente hay una acumulación de 40 litros por habitante por año (0.04 m<sup>3</sup>/hab-año). Este número es válido en un sistema con desarenador.

Una desventaja de una laguna anaerobia es el olor que puede generarse en el caso de haber una alta carga orgánica, mayor que la carga de diseño y si existen dentro del influente sulfatos mayores a 500 mg/l.

## **Lagunas Facultativas**

El mecanismo característico de las lagunas facultativas ocurre en el estrato superior y corresponde a una simbiosis o comensalismo de bacterias aerobias y algas. Las bacterias heterotróficas descomponen la materia orgánica produciendo compuestos inorgánicos insolubles y  $\text{CO}_2$ . La cantidad de oxígeno requerido para esta degradación es suministrada fundamentalmente por el proceso de fotosíntesis. El sistema carbonatado está sujeto a cambios cíclicos durante el día, y aunque los cambios de alcalinidad no son grandes, ocurren transformaciones en los componentes de la misma tales como variaciones de bicarbonatos a carbonatos e hidróxidos (Pipes, 1961 y Marais, 1970).

Como un resultado del proceso de fotosíntesis de las algas de la laguna, existe una variación diurna en la concentración de oxígeno disuelto. Después del amanecer, el nivel de oxígeno disuelto se incrementa gradualmente hasta llegar a un máximo al atardecer, disminuyendo al mínimo durante la noche. La posición de la oxipausa (la profundidad a la cual la concentración de oxígeno disuelto es cero) cambia de una forma similar. En el pico de la actividad algal, los iones carbonato y bicarbonato reaccionan para proveer más bióxido de carbono a las algas, produciendo un exceso de iones hidroxilo con lo cual el pH se eleva por arriba de 9, aumentando la tasa de mortalidad de las bacterias fecales.

La temperatura es uno de los factores de mayor importancia en el funcionamiento de las lagunas de estabilización. La constante cinética de primer orden de degradación del sustrato es una función de la temperatura en su rango de 5 a 35 °C, de acuerdo con la ley modificada de Van't Hoff-Arrhenius. Se ha demostrado que el crecimiento de algas es máximo en un ámbito de temperatura de 25 a 30 °C. Temperaturas más altas disminuyen el crecimiento y para temperaturas sobre los 35 °C se ha observado que la actividad de las algas se inhibe totalmente (Aguirre y Gloyna, 1979).

En ausencia de un mezclado inducido por el viento, la población algal tiende a estratificarse en una capa angosta de aproximadamente 20 cm de espesor, durante las horas del día. Esta capa concentrada de algas se mueve hacia arriba o hacia abajo de los primeros 50 cm superficiales como respuesta a los cambios de la intensidad de luz incidente y origina grandes fluctuaciones en la calidad del efluente (DBO y sólidos suspendidos) si la estructura de salida está dentro de esta zona.

Estas condiciones de baja mezcla pueden originar una estratificación térmica en una laguna. En esta condición, las masas de agua se estratifican, debido a las diferentes densidades, en función de la temperatura. La profundidad a la cual la tasa de cambio de la temperatura con la profundidad es máxima, se denomina termoclina; el cambio de temperatura es de más de 1 °C por metro. En lagunas facultativas con 1.5 m, esto implica una variación de 1.5 °C entre la superficie y el fondo para que ocurra la estratificación térmica.

En lagunas facultativas, el estado crítico de estratificación térmica es alcanzado cuando la oxipausa alcanza la termoclina. Esta condición favorece la presencia de cortocircuitos. El conocimiento de la estratificación termal para cada caso particular es importante para la adecuada ubicación de las estructuras de entrada y salida de la laguna y también para la adopción de medidas que promuevan la desestratificación.

El otro mecanismo es la digestión anaerobia de los sólidos sedimentados en el fondo.

Debido a lo mencionado anteriormente, su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser: como laguna única, como laguna primaria o como una unidad secundaria después de lagunas anaerobias.

La laguna facultativa puede tener una profundidad entre 1 y 1.5 metros, porque tiene menos carga, lo que permite una mayor penetración de la luz. Pueden ser de dos tipos: laguna facultativa primaria, que recibe las aguas residuales crudas y laguna facultativa secundaria, que recibe aguas residuales sedimentadas (generalmente del efluente de una laguna anaerobia). Se diseñan para remoción de DBO considerando una carga superficial relativamente baja (100-400 kg DBO/ha d) para permitir el desarrollo saludable de una población de algas, así como el oxígeno generado por éstas para la remoción de DBO por las bacterias. Las algas de las lagunas facultativas presentan un color verde oscuro, aunque ocasionalmente pueden presentar un color rojo o rosa (especialmente cuando están ligeramente sobrecargadas) debido a la presencia de bacterias anaerobias púrpuras que oxidan los sulfuros fotosintéticamente. La concentración de algas en una laguna facultativa saludable, depende de la carga y temperatura, siendo usual el rango de 500 - 2,000  $\mu\text{g}$  de clorofila  $\alpha$  por litro.

### **Lagunas de Maduración**

Las lagunas de maduración reciben el efluente de la laguna facultativa y son tradicionalmente diseñadas con profundidades de 1 a 1.5 m. Su tamaño y número depende de la calidad bacteriológica requerida del efluente final. En estas lagunas no hay una zona anaerobia, solamente existe una zona aerobia, la cual tiene la función de remover los microorganismos patógenos excretados, lo que ocurre por sedimentación de algunas bacterias o por su muerte ocasionada por los rayos ultravioleta del sol. Esta función es extremadamente eficiente cuando se diseñan las lagunas en serie.

Las lagunas de maduración remueven solo una pequeña parte de la DBO, pero su contribución en la remoción de nutrientes puede ser significativa.

### **14.3 4.3 Consideraciones en el diseño de lagunas que inciden en la operación y mantenimiento.**

El funcionamiento de una laguna de estabilización depende fundamentalmente del tipo de comunidad biológica que se desarrolla, lo que ocasiona que la eficiencia del tratamiento depende de múltiples factores, como:

Calidad del agua a tratar.

Aspectos físicos.

- Intensidad de la luz solar.
- Viento.
- Nubosidad.
- Precipitación pluvial.
- Infiltración y evaporación.
- Temperatura.

Aspectos químicos:

- Material disuelto y suspendido.
- Oxígeno disuelto.
- Dióxido de Carbono.
- pH.
- Fósforo.
- Nitrógeno.

#### **14.3.1 4.3.1 Calidad del agua a tratar.**

Las lagunas se utilizan principalmente para tratar aguas residuales domésticas. En este sentido los contaminantes a remover son la materia orgánica biodegradable, los sólidos suspendidos y los microorganismos patógenos. Una laguna bien diseñada no tiene problemas para removerlos, Pero, en la práctica se debe considerar la presencia de efluentes industriales sobre todo cuando éstos se encuentran en una proporción mayor al 20 % del flujo total, del agua que entra. Se distinguen tres tipos de efluentes industriales que pueden causar problemas en este proceso:

1. Aquellos con altas concentraciones de fenoles, que inhiben la fotosíntesis. En este caso se debe efectuar un pretratamiento anaerobio o la segregación de la descarga tóxica.

2. El balance de nutrientes diferente al requerido (DQO : N : P de 100 : 5 : 1) que llegan a reducir la eficiencia del tratamiento o inhibir el crecimiento de microorganismos , especialmente de las algas, y aumentan el riesgo de anaerobiosis en las lagunas facultativas.

Esta situación se puede remediar alimentando descargas con elevado contenido de nutrientes, o bien, adicionando fertilizantes o estiércol.

3. Efluentes con altos contenidos de materia orgánica que requieren un pretratamiento.

#### **14.3.2 4.3.2 Aspectos físicos.**

La producción de algas y microorganismos de una laguna a otra varía considerablemente, reflejando la influencia de las condiciones ambientales (Oelaunoy, 1982).



Fig.4.6 Aspecto del agua en una Laguna de Maduración.

#### *14.3.2.1 4.3.2.1 Intensidad de la luz solar.*

La luz solar constituye una fuente de energía para algunos de los procesos biológicos de la laguna y determina su estructura térmica. La cantidad de luz se mide como la cantidad de energía que incide en el área donde se lleva a cabo la fotosíntesis. La iluminación que se requiere para la actividad biológica de las algas varía de 5 000 a 7 500 luxes. La luz que llega a la laguna es función de la latitud, estación del año, hora del día, condiciones ambientales y tipo de cuerpo de agua.

Aunque toda la luz incide en la superficie sólo una parte de ella penetra y otra es reflejada a la atmósfera. La parte que no es reflejada se dispersa en el agua y puede salir nuevamente fuera del agua o ser absorbida, por algún material. Las longitudes de onda grandes (rojo y naranja) son absorbidas después de pasar a través de una pequeña distancia, calentando el agua superficial, mientras que las ondas cortas, (verde y azul) penetran hasta las zonas profundas. La penetración de la luz depende de la composición del agua y la cantidad de material suspendido o disuelto en ella. La luz se reduce al 1 % de la cantidad total que incide sobre la superficie y alcanzan una profundidad menor a 1 m en cuerpos productivos o turbios.

En general, se distinguen tres estratos en las lagunas: el superior que se caracteriza por un exceso de luz y que tiene un espesor, de 1.10 m, el central, donde ocurre la iluminación óptima para la fotosíntesis y es de sólo unos cuantos centímetros y el inferior escasamente iluminado.

Un cuerpo de agua no debe estar completamente estratificado ya que una alta eficiencia fotosintética sólo ocurre con movimiento del agua y alternando las condiciones de luz y oscuridad. De hecho, se ha comprobado que intervalos cortos de radiación solar son mejores que una exposición prolongada a la misma. En cambio, el contenido de oxígeno es más elevado en el centro y en la superficie. Durante la noche, las corrientes térmicas mezclan las capas estratificadas lo que garantiza una producción constante de oxígeno durante las mañanas.

Para que se lleve a cabo una adecuada estabilización se requiere valores de oxígeno disuelto comprendidos entre el valor de saturación y un mínimo de 2 mg/L. En algunos casos se tienen valores muy por arriba de la saturación en la capa superior de la laguna debido a la gran actividad fotosintética de las algas. La saturación por oxígeno se obtiene alrededor de 4 horas antes de la aparición del Sol y se mantiene durante todo el periodo de insolación. En condiciones normales, se presenta un gradiente de la concentración de oxígeno disuelto en función del gasto.

#### *14.3.2.2 4.3.2.2 Viento.*

El viento interviene en el proceso de autodepuración en las lagunas al provocar una mezcla y generar corrientes verticales del agua. Así, el oxígeno disuelto presente en la superficie es llevado a las capas más profundas. También, la dispersión del agua residual y de los microorganismos en toda la laguna ocurre, por el mismo efecto. El viento ayuda al movimiento de las algas, principalmente de aquellas que son consideradas como grandes productoras de oxígeno como son algas verdes del género *Chlorella*.

Por otra parte, cuando se tiene la presencia de vientos dominantes que pueden transportar los olores generados por un mal funcionamiento en la laguna, la dirección del mismo es un factor determinante. Otro problema, relacionado con vientos fuertes es la formación de olas que pueden provocar la erosión de los terraplenes internos. Por lo general, esto ocurre en lagunas con superficies superiores a 10 hectáreas.

#### *14.3.2.3 4.3.2.3 Nubosidad.*

Las nubes son un agente importante para la dispersión y reflexión de la energía solar, capaces de reducir la radiación directa en un 80 a 90%. Esta reducción varía en función de la distribución de tipos de nubes, la cantidad de absorción, la dispersión atmosférica y de la distancia efectiva (espesor y contenido atmosférico).

#### *14.3.2.4 4.3.2.4 Precipitación pluvial.*

Las precipitaciones pluviales tienen una influencia importante en el funcionamiento del proceso. Lluvias aisladas o escasas no provocan efectos significativos en las lagunas (IMTA, CNA y TACSA, 1994). Con lluvia continua el tiempo de retención hidráulica se reduce mientras que lluvias intensas diluyen el contenido de materia orgánica a la laguna y acarrear material orgánico y mineral por medio del escurrimiento.

#### *14.3.2.5 4.3.2.5 Infiltración y evaporación.*

La infiltración y evaporación disminuyen el volumen de agua contenida en una laguna. Ambos factores están íntimamente ligados con las condiciones climáticas y geológicas locales, en especial con la temperatura, el viento, la humedad del aire y el tipo de suelo.

Uno de los factores por cuidar durante la operación es el mantener un nivel constante del líquido y que el espesor del agua sea casi el mismo en cualquier sitio de la laguna. La pérdida de agua provocada por la evaporación, trae como consecuencia la concentración de sustancias contaminantes y aumenta, la salinidad del medio. Ambos efectos resultan perjudiciales para algunos microorganismos y, en consecuencia, para el equilibrio biológico de la laguna.

#### *14.3.2.6 4.3.2.6 Temperatura.*

La temperatura del líquido en la laguna es probablemente uno de los parámetros importantes en la operación de ésta y, por lo general, se encuentra dos o tres grados arriba, de la temperatura ambiente.

Como es sabido, la mayoría de las bacterias trabajan en el intervalo de temperatura mesófilo por lo que las altas, temperaturas no son problema. El incremento por arriba de 25° C acelera los procesos de biodegradación. Las temperaturas altas permiten el desarrollo de algas azules pero su presencia se relaciona con la muerte de otro género de algas. Por, el contrario las bajas temperaturas abaten la eficiencia de tratamiento. Cuando la temperatura disminuye se presenta una reducción de la población de algas y del metabolismo bacteriano implicando una disminución de la eliminación de la contaminación orgánica y bacteriológica.

La producción óptima de oxígeno se obtiene a los 20° C, los valores límites son 4° C y 35° C. En efecto a partir de 3° C la actividad fotosintética de las algas decrece y las lagunas se toman más sensibles a choques hidráulicos o a rápidos aumentos en la carga orgánica, lo cual trae como consecuencia una menor eficiencia de la remoción de la DBO. En cuanto a la fermentación anaerobia, ésta se origina, después de los 22° C y decrece a casi nada por debajo de los 15° C.

Finalmente la actividad microbiana más intensa a mayores temperaturas ocasiona un incremento en los requerimientos de oxígeno disuelto y, si no se abastece la cantidad requerida, se pueden propiciar condiciones anaerobias que se caracterizan por la presencia de malos olores y un efluente turbio.

### 14.3.3 4.3.3 Aspectos químicos.

#### 14.3.3.1 4.3.3.1 Material disuelto y suspendido.

Los compuestos se pueden encontrar en forma disuelta o suspendida. Las bacterias incorporan las sustancias orgánicas disueltas en sus cuerpos que posteriormente liberan al morir. El material suspendido tiende a sedimentar generando una acumulación en el fondo, el cual con los movimientos del agua pueden resuspenderse y descomponerse biológicamente.

#### 14.3.3.2 4.3.3.2 Oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto, fundamental para la realización del proceso aerobio, varía en función del día y la profundidad. La evolución diurna de una laguna muestra que el contenido de oxígeno es más elevado en el centro y en la superficie. Durante la noche, las corrientes térmicas mezclan las capas estratificadas lo que garantiza una producción constante de oxígeno durante las mañanas.

Para que se lleve a cabo una adecuada estabilización se requiere valores de oxígeno disuelto comprendidos entre el valor de saturación y un mínimo de 2 mg/L. En algunos casos se tienen valores muy por arriba de la saturación en la capa superior de la laguna debido a la gran actividad fotosintética de las algas. La saturación por oxígeno se obtiene alrededor de 4 horas antes de la aparición del Sol y se mantiene durante todo el periodo de insolación. En condiciones normales, la concentración de oxígeno disuelto varía de acuerdo a las estaciones del año.

#### 14.3.3.3 4.3.3.3 Dióxido de carbono y pH.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es altamente soluble y forma ácido carbónico el cual se disocia y libera iones hidronio. En sistemas donde los carbonatos son abundantes, el pH es relativamente constante. Cuando las sales disueltas en el agua son pobres en carbonatos, la actividad biológica ocasiona grandes cambios de pH.

Durante las primeras horas del día, los valores de pH son bajos (menores de 7) debido al exceso de CO<sub>2</sub> producido por la respiración bacteriana aerobia durante la noche. De las 14:00 a 16:00 horas, el pH se eleva ya que las algas se encuentran en plena actividad fotosintética. Durante la noche el pH vuelve a declinar por que las algas dejan de consumir CO<sub>2</sub> y porque continúa la producción de CO<sub>2</sub> por la respiración de las bacterias.

#### 14.3.3.4 Fósforo

El fósforo está presente como ion fosfato o en complejos orgánicos. Algunos fosfatos son altamente solubles en agua, en particular cuando, el oxígeno está presente. El fósforo es un nutriente limitante y su adición ayuda a mejorar los problemas ocasionados por una baja biodegradación.

#### 14.3.3.5 4.3.3.4 Nitrógeno.

El nitrógeno está presente como  $N_2$ ,  $N-NO_2^-$ ,  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4$  y en diversas formas orgánicas. Proviene de la precipitación, el suelo y el agua residual misma, pero su disponibilidad está regulada por los procesos biológicos. Varios tipos de bacterias y algas azul verdes fijan el  $N_2$  en forma orgánica, incorporándolo en el ciclo de nutrientes. El nitrógeno debe estar disponible en relación con la materia orgánica para no ser un limitante del crecimiento.

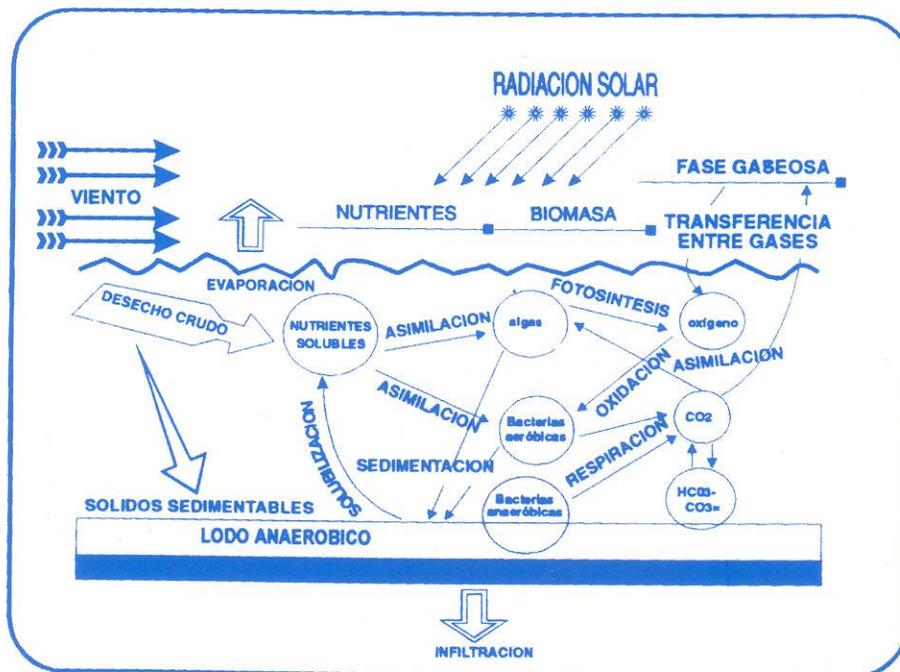


Fig.4.7 Diagrama del funcionamiento de una laguna de estabilización.

#### 14.3.4 4.3.4 Tipos de flujo.

De acuerdo con su comportamiento hidráulico, en una laguna de estabilización pueden presentarse los siguientes tipos de flujo:

**Flujo pistón.** El flujo pistón es aquel en el que no hay mezclado en la dirección de la corriente, técnicamente se considera que el agua se mueve como un bloque en donde existe un mezclado completo en la dirección perpendicular al mismo, esto es, en la dirección radial. Se obtiene en reactores rectangulares a régimen laminar, con una gran relación largo/ancho (mayor que 8), en donde el flujo se desliza a lo largo a muy baja velocidad.

**Flujo completamente mezclado (Mezcla completa).** En este modelo se considera que la concentración de sustrato y de microorganismos es la misma en cualquier parte del reactor biológico. La mezcla completa ocurre cuando las partículas que entran al reactor son dispersadas inmediatamente en todo el volumen del mismo. Se obtiene en reactores cuadrados o circulares si el contenido es uniforme y continuamente redistribuido.

**Flujo disperso.** Este tipo de flujo es un estado intermedio entre el flujo pistón y la mezcla completa, se presenta en reactores cuadrados u rectangulares con una entrada y salida puntual en el centro de dos lados opuestos, caracterizándose por presentar zonas muertas en sus extremos y una mezcla completa en el centro. Hidráulicamente es el modelo más representativo del funcionamiento de una laguna y presenta el inconveniente de complicar las ecuaciones matemáticas que lo modelan.

#### 14.4 4.4 Operación y mantenimiento de lagunas de estabilización.

Las labores de operación y mantenimiento en lagunas de estabilización se resumen a vigilar las siguientes operaciones:

- 1) Control del nivel del agua residual.
- 2) Corrección de corto circuitos.
- 3) Corrección de sobre cargas, condiciones anaerobias y control de malos olores.
- 4) Corrección de DBO alta en el efluente.



- 5) Corrección de tendencia decreciente del pH.
- 6) Corrección de oxígeno disuelto.
- 7) Control de natas.
- 8) Control de algas azul-verde.
- 9) Eliminación de predadores de algas.
- 10) Control de vegetación acuática.
- 11) Control de vegetación de los bordos y área litoral
- 12) Control de animales que producen madrigueras.
- 13) Control de insectos.
- 14) Mejorar la remoción de algas en el efluente.

4.1 Control del nivel del agua residual.

<b>Indicadores/ observaciones</b>	<b>Causas probables</b>	<b>Soluciones</b>	<b>Repercusiones</b>
La laguna tiende a secarse fácilmente provocando olor desagradable, crecimiento de plantas y proliferación de insectos.	Infiltración a través del fondo o por los diques.	a) Cuando la infiltración es a través del fondo, es necesario reponer la capa de arcilla o impermeabilizar por otros medios como geomembranas.  b) Cuando la infiltración es a través de los bordos, es necesario impermeabilizar las grietas con arcilla de buena calidad.	a) Puede contaminar el manto freático.
Desbordamiento del agua residual.	Taponamiento de las estructuras de salida.	a) Limpia las estructuras de salida.	

4.2 Corrección de corto circuitos.

Indicadores/ observaciones	Causas probables	Soluciones	Repercusiones
<p>Problemas de olor, bajo oxígeno disuelto en algunas partes de la laguna, condiciones anaerobias y bajo pH. Si al revisar estos parámetros se encuentran diferencias del 100 al 200% pueden indicar corto circuitos.</p> <p>Evidencia de áreas que no tiene buena circulación.</p>	<p>Pobre acomodo de las estructuras de entrada y salida.</p> <p>También puede deberse a la forma de la laguna, al crecimiento de la maleza o a la irregularidad del fondo.</p>	<p>a) Instale divisiones alrededor de la entrada para mejorar la distribución del influente.</p> <p>b) Coloque chicanas en todo el cuerpo de la laguna.</p> <p>c) Coloque nuevos puntos de entrada y salida incluyendo entradas múltiples.</p> <p>d) Elimine la maleza.</p> <p>e) Nivele el fondo.</p>	<p>a) Bajas eficiencias del proceso.</p> <p>b) Incumplimiento de las condiciones de descarga.</p> <p>c) Mal olor.</p>

4.3 Corrección de sobre cargas, condiciones anaerobias y control de malos olores.

Indicadores/ observaciones	Causas probables	Soluciones	Repercusiones
<p>Alto nivel de olor.</p> <p>El efluente presenta alta concentración de DBO y sólidos suspendidos, bajo pH y oxígeno disuelto y color gris.</p> <p>Presencia de natas en la superficie del agua.</p>	<p>Corto circuito, descarga de desechos tóxicos, previsión errónea de cargas orgánicas en el diseño, aumento en la carga orgánica de la población contribuyente, industrias, etc. Condiciones climáticas desfavorables.</p>	<p>a) Cambie de operación en serie a paralelo "para dividir la carga".</p> <p>b) Investigue la posibilidad de corto circuito y tome las medidas indicadas en la tabla 4.2.</p> <p>c) De ser posible instale aeración suplementaria</p>	<p>a) Incumplimiento de las condiciones de descarga.</p> <p>b) Problemas en el sitio de descarga.</p> <p>c) Malos olores.</p> <p>d) Desaprobación de la planta por la comunidad.</p>

	<p>En el caso de lagunas facultativas puede deberse además a que la población de algas es escasa, debido a la presencia de predadores.</p>	<p>(aeradores mecánicos o difusores).</p> <p>d) De no existir, construya una laguna aerobia.</p> <p>e) Construya lagunas adicionales.</p> <p>f) Elimine las fuentes de descargas toxicas.</p> <p>g) En algunos casos se puede obtener alivio temporal agregando nitrato de sodio (24kg/1000 m<sup>2</sup>).</p>	
--	--	---	--

4.4 Corrección de DBO alta en el efluente.

<b>Indicadores/ observaciones</b>	<b>Causas probables</b>	<b>Soluciones</b>	<b>Repercusiones</b>
<p>Concentración alta de DBO que esta fuera de las condiciones particulares de descarga.</p>	<p>Corto tiempo de retención hidráulico o inadecuada localización de las estructuras de entrada y salida, altas cargas orgánicas o hidráulicas posiblemente existen compuestos tóxicos en el influente.</p>	<p>a) Revise el diseño de la planta e identifique causas potenciales del problema.</p> <p>b) Aplique las medidas citadas para el caso de sobrecarga, condiciones anaerobias y malos olores.</p> <p>c) Utilice bombas portátiles para recircular el agua.</p> <p>d) Reduzca las cargas debidas afluentes industriales si están por arriba de lo normal.</p> <p>e) Evite las descargas toxicas.</p>	<p>a) Incumplimiento de las condiciones de descarga.</p>

4.5 Corrección de tendencia decreciente del pH.

Indicadores/ observaciones	Causas probables	Soluciones	Repercusiones
<p>El pH es uno de los factores que controla la dinámica de población. Las algas en su desarrollo modifican el balance de carbonatos, lo que provoca que el pH presente valores alcalinos. El alga <i>Chorella</i> se desarrolla adecuadamente aun pH entre 8.0 y 8.4 y se caracteriza por producir altas cantidades de oxígeno.</p> <p>Tanto el pH como en oxígeno disuelto varían durante el día con la lectura más baja de almacenar y la más alta al caer la tarde.</p> <p>Mida el pH a la misma hora cada día y haga una gráfica con los resultados para hacer evidentes cambios anormales.</p>	<p>Muerte de las algas; al no haber consumo de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) el pH decrece.</p> <p>Esto es causado generalmente por descargas de compuestos tóxicos, por la presencia de predadores como la <i>Daphnia</i> o por un mal balance de nutrientes.</p>	<p>a) Desconecte la celda y déjela descansar.</p> <p>b) Use opresión en el paralelo.</p> <p>c) Investigar la posibilidad de causas toxicas y externas de las muerte de las algas y corrija la fuente.</p> <p>d) De ser posible aplique recirculación del efluente de la laguna.</p> <p>e) Siga las instrucciones citadas en la eliminación de predadores de algas.</p> <p>f) Analice el agua residual para verificar si el balance de nutrientes es adecuado.</p>	<p>a) Bajas eficiencias.</p> <p>b) Incumplimiento de las condiciones de descarga</p>

4.6 Corrección de oxígeno disuelto.

Indicadores/ observaciones	Causas probables	Soluciones	Repercusiones
Tendencia continua decreciente de oxígeno disuelto. Condiciones anaerobias se tienen a concentraciones iguales o inferiores de 0.5mg/L de oxígeno disuelto, lo que causara la emisión de malos olores.	<p>Muerte de algas, sobrecargas, penetración insuficiente de luz por la formación de natas o vegetación superficial, descarga de desechos tóxicos.</p> <p>El oxígeno disuelto durante el día no debe bajar de 3.0mg/L durante los meses de calor.</p>	<p>a) Reduzca la carga orgánica en las lagunas primarias cambiando a operación en paralelo.</p> <p>b) Remueva la vegetación suspendida si esta cubre más del 40% de la laguna.</p> <p>c) Utilice recirculación usando una bomba portátil regresar el efluente final al inicio de la planta.</p> <p>d) Determine si la carga se debe a una fuente industrial y elimínela.</p>	<p>a) Bajas eficiencias.</p> <p>b) Incumplimiento de las condiciones de descarga.</p> <p>c) Posible desarrollo de mal olor.</p> <p>d) Desaprobación de la planta por la comunidad.</p>

4.7 Control de natas.

Indicadores/ observaciones	Causas probables	Soluciones	Repercusiones
Es necesario controlar las fórmulas de natas para prevenir problemas de olores y eliminar los sitios de reproducción de los mosquitos. Además masas flotantes reducen la penetración de la luz solar.	<p>El material del fondo de la laguna se está levantando y el lodo está flotando a la superficie. Mala circulación y poca acción del viento.</p> <p>Grandes cantidades de grasas y aceites en el influente también causan natas.</p>	<p>a) Utilice un cucharón, una bomba portátil para hacer chorro de agua o una lancha de motor para romper la nata. Ya rota la nata generalmente se hunde.</p> <p>b) Cualquier nata remanente debe retirarse y disponerse enterrándola o trasportándola a un relleno sanitario.</p> <p>c) Elimine cargas industriales que contengan exceso de grasas y aceites.</p> <p>d) Coloque una unidad de flotación antes de la laguna.</p>	<p>a) Bajas eficiencias.</p> <p>b) Incumplimiento de las condiciones de descarga.</p> <p>c) Mal aspecto.</p> <p>d) Desaprobación de la planta por la comunidad.</p>

4.8 Control de algas azul-verde.

Indicadores/ observaciones	Causas probables	Soluciones	Repercusiones
<p>Proliferación de algas azul-verde. Identificar si la concentración de las algas azul-verde disminuye la eficiencia, de lo contrario déjelas.</p> <p>La presencia de estas algas puede provocar bajo pH (menor a 6.5) y oxígeno disuelto menor a 1mg/L, emisión de malos olores. Cuando las algas mueren, provocan malos olores</p>	<p>Tratamiento incompleto sobre carga y/o mal balance de nutrientes.</p>	<p>a) Incorporación balanceada de nitrógeno y en la forma más económica que se pueda identificar. Ejemplo: desechos de establos, gallinas, etc.</p> <p>b) Rompa los crecimientos de algas con una lancha de motor o con una bomba portátil y una manguera. El motor de la lancha debe ser de enfriamiento por aire ya que las algas pueden apagar los motores enfriados por agua.</p> <p>c) Elimine desechos industriales.</p> <p>d) En un caso extremo, aplíquese 3 veces al mes una solución de sulfato de cobre. Si la alcalinidad total es mayor de 50mg/L aplique 1.25kg de sulfato de cobre por cada 1000m<sup>3</sup>. Si la alcalinidad es menor de 50mg/L reduzca la cantidad de sulfato de cobre a 0.6kg/1000m<sup>3</sup>. Cuando utilice este químico cerciórese de no descargar el efluente a un cuerpo receptor con peses; para ellos 1mg/L de sulfato de cobre es toxico.</p> <p>Nota:</p> <p>La aplicación de un biocida, como el sulfato de cobre es solo una solución inmediata.</p>	<p>a) La presencia de algas azul-verde es indeseable, ya que impide el paso de la luz y algunas especies producen sustancias toxicas para el resto de los microorganismos, afectando así el proceso de tratamiento.</p> <p>b) Bajas eficiencias.</p> <p>c) Incumplimiento de las condiciones de descarga.</p>

4.9 Eliminación de predadores de algas.

Indicadores/ observaciones	Causas probables	Soluciones	Repercusiones
<p>Son predadores de algas los rotíferos y crustáceos microscópicos. Su presencia se infiere por un cambio en la coloración de la laguna de café amarillento o pardo pero se debe confirmar su presencia mediante, análisis microscópicos.</p> <p>En el cuerpo de la laguna se forman natas de color naranja o rosado.</p>	<p>Crecimiento desmedido por condiciones favorables para su desarrollo como son: altas concentraciones de algas y de oxígeno disuelto.</p>	<p>a) El control biológico de predadores de algas se puede efectuar cultivando el pez gambusia; sin embargo, este cultivo es únicamente posible en lagunas que han estado en operación por algunos años.</p> <p>b) El cultivo químico de algunos organismos es efectuado con el uso de insecticidas o larvicidas. La aplicación de orto-dibron 8 (californias/Spray Chemical Co.) en dosis de 1.2 1 por hectárea, reduce en 99% la Daphnia y organismos similares. El control de rotíferos puede ser efectuado con el uso de rotenone, aplicación suficiente, con dosis de 2.41 por hectárea. El tratamiento es caro y se debe utilizar cuando la presencia de predadores es tan grande que ha producido olores por un periodo prolongado.</p> <p>c) De ser posible deje que el proceso se restablezca.</p> <p>Nota:</p> <p>Es conveniente que en esos casos se puede canalizar el agua a otro punto porque cuando se infecta con Daphnia es difícil que las demás lagunas no se contaminen.</p>	<p>a) Bajas eficiencias</p> <p>b) Incumplimiento de las condiciones de descarga.</p>

\*Nota: Utilice los productos químicos como último recurso debido a sus efectos contaminantes.

4.10 Control de vegetación acuática.

Indicadores/ observaciones	Causas probables	Soluciones	Repercusiones
<p>El exceso de vegetación acuática superficial es evidente en la formación de natas, espumas, islotes y acumulación en costados y esquinas.</p> <p>La vegetación proporciona alimentos a los animales que forman madrigueras en los bordos, causan problemas de corto circuitos. Detiene la acción de las olas de manera que se junta la espuma, proporciona refugio que permite la proliferación de mosquitos y se desarrolla olores en la zona quieta. Impiden la penetración de la luz y evita la acción del viento y por lo tanto reduce el oxígeno de la laguna. La penetración de las raíces puede causar fugas en el sello de la laguna si es que existe.</p>	<p>Mala circulación, ausencia de mantenimiento o profundidad insuficiente del agua.</p> <p>Exceso de nutrientes nitrogenados en el influente.</p>	<p>Para la vegetación suspendida utilice rastrillos o un tablón en una lancha para empujarla a la orilla y retirarla físicamente.</p> <p>En el caso de la vegetación fija en el fondo, aumente el nivel del agua hasta tapar la vegetación; o bien, baje el nivel del agua hasta exponer la vegetación y luego quemelas con quemadores especiales de gas.</p>	<p>a) Bajas eficiencias.</p> <p>b) Incumplimiento de las condiciones de descarga.</p> <p>c) Proliferación de insectos.</p> <p>d) Si hay infiltración se puede provocar la contaminación del manto freático.</p>

4.11 Control de vegetación de los bordos y área litoral.

Indicadores/ observaciones	Causas probables	Soluciones	Repercusiones
<p>Crecimiento de vegetación, matorrales y otras plantas proporcionan lugares propicios para la anidación de animales que pueden debilitar los bordos y dar mal aspecto; también reducen la acción del viento en la laguna.</p> <p>El área litoral poco profunda puede permitir enraicé y el crecimiento de vegetación.</p>	<p>Mal mantenimiento</p>	<p>a) El mejor método es el corte periódico de la vegetación.</p> <p>b) Siempre en los bordos una mezcla de pasto que forme una buena cama que no permite el crecimiento de plantas altas, de tal forma que apriete la tierra y gane la competencia a las plantas altas.</p> <p>c) Ponga un zampeado en los bordos.</p> <p>d) Aumente el nivel del agua hasta tapar la vegetación; o bien, baje el nivel del agua para exponer la vegetación y luego quemar con un quemador especial de gas.</p> <p>e) Se han usado borregos para que se coman la maleza. Esto puede incrementar los coniformes especialmente en la celda de descarga. Practiqué el pastoreo por rotación para evitar que se acaben las especies de pasto. Un ejemplo de esta rotación sería: pastoree cada área 2 meses de cada 6 meses.</p> <p>f) Rocié con un producto químico para destruir la vegetación. Asegúrese de consultar con las autoridades antes de aplicarlos. Los siguientes son ejemplos de herbicidas.</p>	<p>a) Mal aspecto, descuido.</p> <p>b) Desaprobación de la planta por la comunidad.</p>



		Dow Dapalon para colas de gato.  Dow silvex para plantas emergentes.  Ortho Endo-thal para malezas suspendidas.  Sulfato de cobre para algas filamentosas.  Simazine para malezas.	
--	--	--	--

Nota: El uso de productos químicos no es recomendable debido a que puede propiciar la contaminación del agua que se está tratando; además de que se está contaminando la tierra sobre la cual se está aplicando el producto.

4.12 Control de animales que producen madrigueras.

Indicadores/ observaciones	Causas probables	Soluciones	Repercusiones
Los animales que producen madrigueras tienen que ser controlados, ya que debilitan los bordos de las algunas. Los animales más frecuentes son ratas de campo y conejos silvestres.	Las condiciones del bordo sin zampeado atraen a los animales, aunado con la alta población de estos animales en el área circunvecina en la planta de tratamiento.	<p>a) Remueva cualquier indicio de comida en los alrededores de la planta.</p> <p>b) Las ratas de campo prefieren una madriguera parcialmente mojada.</p> <p>Si el operador sube el nivel del agua, la rata hará excavaciones hacia arriba. Algunas veces bajando y subiendo el nivel del agua las ratas abandonan la madriguera.</p> <p>c) Use trampas con carnadas envenenadas.</p> <p>d) Ponga cerca alrededor del agua de la planta.</p>	a) Infiltraciones. Deslaves y desbordamientos de las aguas residuales.

4.13 Control de insectos.

Indicadores/ observaciones	Causas probables	Soluciones	Repercusiones
Presencia de insectos en el área y presencia de larvas e insectos en la laguna.	Mala circulación. Mantenimiento insuficiente. Presencia de malezas y vegetación acuática que prevé refugio a las larvas.	<p>a) Mantenga limpia de vegetación la laguna y el área litoral.</p> <p>b) Mantenga la laguna libre de natas.</p> <p>c) Siembre la alguna con pez gambusia (pez mosquito).</p> <p>d) Control sobre el nivel de operación. Cuando el nivel del agua se hace descender varios centímetros, las larvas que</p>	<p>a) Existe la posibilidad de fomentar la proliferación de insectos que provocan enfermedades en el hombre. (ejem: paludismo).</p> <p>b) Desaprobación de la planta por la población.</p>



		<p>estaban en la zona de los diques cercanas a la superficie, perecen al secarse dicha zona.</p> <p>Cuando el nivel se hace subir las larvas perecen por efecto de la inundación periódica nivel del agua en la laguna, contribuye a mantener el control de los mosquitos. Mantener una máxima profundidad en la laguna, evita la vegetación emergente que es fuente de insectos. Se recomiendan profundidades mayores que 0.90m.</p>	
--	--	---	--

4.14 Mejorar remoción de algas en el efluente.

<b>Indicadores/ observaciones</b>	<b>Causas probables</b>	<b>Soluciones</b>	<b>Repercusiones</b>
La mayoría de los suspendidos presentes en el efluente de una laguna se deben a las algas y son difíciles de remover.	Las condiciones climáticas o de temperatura que favorecen a una población particular de algas.	<p>a) Extraiga el efluente de debajo de la superficie usando un buen arreglo de divisiones.</p> <p>b) Use lagunas múltiples en serie.</p> <p>c) El uso de filtros intermitentes de arena y filtros de roca sumergidos también se pueden usar, pero requieren de modificaciones y los servicios de un ingeniero consultor.</p> <p>d) En alguno casos se ha usado dosis se 20mg/L de sulfato de aluminio en las lagunas finales para mejorar la cantidad de efluentes de descargas intermitentes. Las dosis a este o menos niveles no son toxicas.</p>	a) Incumplimiento de las condiciones de descarga.

Nota: Es normal encontrar en el efluente final de un sistema lagunar que presencia de microalgas las que normalmente no causarían problemas en el sitio de vertido, ya que se incorporan a la biota natural del cuerpo receptor.

## 14.5 4.5 Operación y mantenimiento de lagunas aeradas.

El control del proceso de lagunas aeradas es muy simple y consiste en el control del tiempo de retención hidráulico y el oxígeno disuelto. En aquellas lagunas aeradas donde se tengan clarificadores secundarios y sistema de recirculación se puede jugar con el flujo de recirculación, los sólidos suspendidos de la laguna MLSS, la relación alimento/microorganismos F/M y la edad del lodo  $\theta$  para lo cual se recomienda estudiar el sistema de lodos activados (Fig. 4.8).



Fig.4.8. Laguna aerada.

### 14.5.1 4.5.1 Tiempo de retención.

En lagunas aeradas el tiempo de retención varía de 7-20 días para facultativas mecánicamente aeradas y de 3-10 días para lagunas aeradas con mezcla completa; sin embargo, el tiempo de retención puede aumentarse o disminuirse con un vertedor móvil en el efluente de la laguna aerada que permita subir el nivel del agua en la

laguna. Normalmente, hay sistemas de tratamiento que se diseñan para poder aumentar el nivel de la laguna un 25% más del nivel de operación normal, lo que permite aumentar el tiempo de retención en el mismo porcentaje; en este caso, los aeradores son sobre diseñados para poder aumentar la capacidad de la laguna. Debe tenerse cuidado cuando se aumente el nivel, ya que se requerirá mayor cantidad de oxígeno, por lo que, si no se tiene suficiente capacidad de aeración, la laguna se convertirá en séptica, con el consecuente problema de olor.

#### **14.5.2 4.5.2 Oxígeno disuelto.**

La concentración de oxígeno disuelto OD en la laguna de aeración debe mantenerse de 1 a 3 mg/l. Si en el proceso de lados activados se requiere nitrificar es necesario que el OD sea mayor de 1 mg/l ya que abajo de este valor los microorganismos nitrificantes disminuirán su actividad y pueden morir. Por otro lado una sobre-aeración puede ocasionar que el flóculo sea demasiado disperso y no sedimente bien en las lagunas facultativas sin aeración mecánicas siguientes o aparezcan en la superficie de los clarificadores secundarios cuando el sistema de tratamiento tenga este tipo de unidades.

Se sugiere al arrancar una laguna aerada que el operador monitoree cada 2 horas el OD en la laguna de aeración, para hacer los ajustes necesarios, los cuales pueden ser: bajar el nivel del agua para aumentar el oxígeno o aumentar el nivel del agua para dar mayor tiempo de retención. También, ante la falta de oxígeno disuelto, es necesario agregar más aeradores, para lo cual se recomienda consultar al fabricante del equipo.

4.15 Como corregir problemas en lagunas aeradas.

Indicadores / observación	Causa probable	Solución
-Nivel bajo de oxígeno disuelto. -Nivel alto de oxígeno disuelto. -Formación de espuma.	-Cargas orgánicas. -Bajas cargas orgánicas o sobre aeración. -Desechos industriales que producen espuma.	1. Varíe la operación del sistema de aeración, de tal manera de no sobre aerar la laguna vigile un oxígeno disuelto menor a 3mg/L. 2. Controle el sistema de aeración usando un reloj de control para el arranque de aeradores, monitoree el oxígeno para calibrar la operación de paro y mantenga más un de 1mg/L de oxígeno disuelto. 3. Localice el origen de las descargas tales como rastros de pollos, industria de lácteos o vegetales.

4.16 Como corregir problemas en los equipos de lagunas aeradas.

Indicadores / observación	Causa probable	Solución
El aerador falla al arrancar	1. Alambrado incorrecto o falso contacto en la caja de conexión del motor. 2. Alambrado incorrecto o falso contacto en el panel de control. 3. Fusibles o elementos térmicos impropios.	1. Coteje el diagrama de amarrado de la placa nominal del motor con las conexiones y en los contactos. 2. Verifique el alambrado en el panel de control. 3. Verifique que los fusibles y elementos térmicos cumplan las especificaciones.
El motor arranca. Pero el aerador trabaja regularmente.	1. Alambrado incorrecto, ya sea en el panel de control o probablemente en el motor. 2. Dirección de rotación inversa. 3. Algo que afecta al impulsor, como basura.	1. Verifique el alambrado en el panel de control y en el motor. 2. Invierta 2 de las 3 fases (no cambie la concepción a tierra) 3. Ponga en reversa de 3 a 5 segundos, cambie a la dirección de rotación correcta y arranque otra vez. Si no hay resultados, verifique

		físicamente la unidad remueva cualquier obstrucción. Mantenga la laguna libre de basura.
Paro del motor por calentamiento del elemento térmico.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alambrado incorrecto.</li> <li>2. Elementos técnicos equivocados en el arrancador.</li> <li>3. Basura obstruyendo el impulsor.</li> <li>4. Sobrecalentamiento en el panel de control.</li> <li>5. Mala operación o defecto del balero.</li> <li>6. El cono de succión se cayó al agua.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verifique el alambrado, vea si ay conexiones fijas o correctas.</li> <li>2. Verifique el tamaño adecuado de los elementos térmicos.</li> <li>3. Proceda como en la sección anterior.</li> <li>4. Coloque compensadores de calor en el panel de control. Proteja el panel de los rayos solares en áreas no ventiladas.</li> <li>5. Revise los baleros del motor.</li> <li>6. Verifique que el cono de succión este en su lugar.</li> </ol>
Descarga irregular del líquido.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Basura en la propela o en el soporte del motor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Opere el motor en reversa con leves piquetitos al arrancador como en los puntos (3) de las 2 acciones anteriores, si no obtiene resultados inspeccione la unidad.</li> </ol>
Unidad flotando con inclinación.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tensión no uniforme en los cables de anclaje.</li> <li>2. Tensión innecesaria del cable eléctrico del aerador.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ajuste la tensión del cable uniformemente.</li> <li>2. Reduzca la tensión proporcionando más cable.</li> </ol>
Aerador moviéndose alrededor de su punto de localización.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Uno o dos cables de anclaje flojos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Arregle la tensión de los cables anteriores.</li> </ol>

Tabla 4.17 Corrección de problemas en aeradores mecánicos superficiales.

<b>Indicador</b>	<b>Causa probable</b>	<b>Solución</b>
El aerador falla al arrancar.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alambrado incorrecto o falso contacto en la caja de conexión del motor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coteje el diagrama de alambrado de la placa nominal del motor, en las</li> </ol>

	<p>2. Alambrado incorrecto o falso contacto en panel de control.</p> <p>3. Fusibles o elementos térmicos impropios.</p>	<p>conexiones, en la caja de conexión y en los contactos.</p> <p>2. Verifique el alambrado en el panel de control.</p> <p>3. Verifique que los fusibles y elementos térmicos cumplan las especificaciones.</p>
<p>El motor arranca pero el aerador tiene una descarga muy pobre.</p>	<p>1. Alambrado incorrecto en el panel de control o en el motor.</p> <p>2. Dirección de rotación inversa.</p> <p>3. Algo que afecta al impulsor como basura.</p>	<p>1. Verifique el alambrado en el panel de control y en el motor.</p> <p>2. Invierta dos de las tres fases, no cambie la conexión a tierra.</p> <p>3. Ponga en reversa el motor por tres a cinco segundos, párelo y póngalo otra vez en reversa por tres a cinco segundos. Cambie a la dirección de rotación correcta y arranque otra vez. Si no hay resultados verifique físicamente la unidad y remueva cualquier obstrucción. Mantenga la laguna libre de basura.</p>
<p>Paro del motor por calentamiento del elemento térmico.</p>	<p>1. Alambrado incorrecto</p> <p>2. Elementos térmicos equivocados en el arrancador.</p> <p>3. Basura obstruyendo al impulsor.</p> <p>4. Sobrecalentamiento en el panel de control.</p> <p>5. Mala operación o defecto del balero.</p> <p>6. El aerador perdió el cono de succión.</p>	<p>1. Verifique el alambrado. Vea si hay conexiones flojas o cortas.</p> <p>2. Verifique el tamaño adecuado de los elementos térmicos.</p> <p>3. Proceda como en la sección anterior.</p> <p>4. Proteja el panel de control de los rayos solares.</p> <p>5. Revise los baleros del motor.</p> <p>6. Verifique que el cono de succión este en su lugar.</p>
<p>Descarga no uniforme del líquido.</p>	<p>Basura en la propela o en el soporte del motor.</p>	<p>Opere el motor en reversa dando leves piquetes al arrancador, como en los puntos (3) de las dos secciones</p>

		anteriores. Si no obtiene resultados inspeccione la unidad.
Unidad flotando con inclinación.	1. Tensión no uniforme en los cables de anclaje. 2. Tensión innecesaria del cable eléctrico del aerador	1. Ajuste la tensión del cable uniformemente. 2. Reduzca la tensión proporcionando más cable.
El aerador se mueve alrededor de su punto de localización.	1. Basura en la propela. 2. Cable de anclaje muy tensionado.	1. Opere en reversa como en procedimientos anteriores. 2. Arregle la tensión de los cables.

Fuente: Operación y mantenimiento de lagunas aeradas. Programa de capacitación para operadores de plantas de tratamiento. SEDUE. México. 1985.

## 14.6 4.6 Actividades de operación, mantenimiento y muestreo de lagunas.

A continuación se resumen las actividades de operación y mantenimiento de los diferentes sistemas lagunares, se incluyen frecuencia de muestreo.

4.18. Lista de actividades de operación y mantenimiento.

Actividades	Frecuencia			
	Diario	c/ sem	c/ mes	Tanto como sea necesario
Inspecciones el estado de las instalaciones, lleve a cabo las tareas de mantenimiento y correctivas y llene el reporte indicado para cada actividad.				
<b>Bordos y zonas adyacentes</b>				
1.-Remoción de maleza en bordos y caminos de acceso.				X
2.-Reparación de la erosión o asentamiento.				X



3.-Reparación de las fugas de los bordos.				X
4.-Eliminación de madrigueras.				X
5.-Revisión de las condiciones de los caminos de acceso a la planta.				X
6.-Reparación de los caminos y pintura de las señales y cercas.				X
<b>Equipo de pretratamiento</b>				
1.-Limpieza de rejas y rejillas.	c/4h.			
2.-Disposición de basura.	X			
3.-Pintura de rejas y rejillas.				X
4.-Limpieza de canales desarenadotes.		X		
5.-Disposición de arena.				X
6.-Pintura de canales desarenadotes.				X
7.-Verificación de las condiciones de la estación de bombeo.				
-Limpieza de cárcamo de bombeo.				X
-Pintura de carcamo de bombeo				X
-Operación de la planta de emergencia de energía eléctrica		X		
-Verifique los diversos niveles operacionales del cárcamo de bombeo con limpieza de flotadores de control de niveles.		X		
8.-Verificación de la operación de los motores de la estación de bombeo.				
-Verifique que no produzcan ruidos extraños.	X			
-Verifique la temperatura de operación.	X			
-Siga la rutina de mantenimiento indicada por el proveedor o fabricante.				X
9.-Verificación de la operación de las bombas.				
-Verifique que no produzca ruidos extraños.	X			
-*Verifique el sello de agua y prensa estopa.	X			



-Opere las bombas alternadamente (de no existir alternador automático)		X		
-*Inspeccione el cople de la bomba y moto.		X		
-*Inspeccione su lubricación y los baleros.			c/3 meses	
-*Verifique la temperatura de operación de los baleros.			c/3 meses	
-*Verifique la alineación de las flechas de la bomba y el motor.			c/6 meses	
_ *Inspeccione y de servicio a las bombas.			c/6 meses	
-*Drene la bomba antes de pararla por tiempo prolongado.				X
-*Cebe la bomba de ser necesario antes de ponerla en servicio.				X
10.-Verificación de la operación del sedimentador.				
-Limpie las rastras y verifique su funcionamiento.	X			
-Verifique el nivel de aceite en el sistema de transmisión.	X			
-Cerciórese que no se produzcan ruidos extraños.	X			
-Verifique si el desnatador trabaja apropiadamente.	X			
-Nivele los vertedores.			X	
11.-Verificación de la operación des dispositivo para la medición de flujo.				
-Limpie.	c/4h.			
-Calcule el gasto del influente.	c/4h			
<b>Sistema lagunar</b>				
Actividades repetitivas para cada laguna.				
1.-Inspección de las estructuras de entrada	X			
2.-Limpieza de las estructuras de entrada.				X
3.-Verificación del nivel del agua de la laguna.	X			



4.-Corrección del nivel de operación de la laguna.				X
5.- Revisión de las condiciones superficiales de la laguna:				
-Inspección de color de la laguna	X			
-Remoción de natas y/o espuma.				X
-Remoción de lodos superficiales.				X
-Remoción de la vegetación del fondo				X
-Remoción de la vegetación suspendida.				X
-Control de insectos.				X
-Control de espuma de agua.				X
-Control de rotíferos.				X
6.-Inspección de las estructuras de interconexión.	X			
7.-Limpieza e las estructuras de interconexión				X
8.-Inspección de las estructuras de salida.	X			
9.-Limpieza de estructuras de salida.				X
10.-Calculo del gasto el efluente.	X			
11.-Calculo del tiempo de retención hidráulico (TRH) de la laguna.				X
12.-Corrección de TRH de la laguna.				X
<b>Parámetros de calidad</b>				
1.-Toma de muestras para los diversos análisis.				
- pH		2		
-Temperatura		2		
-Conductividad eléctrica		2		
-Oxígeno disuelto		2		
-DBO		1		
-DQO		1		
-Sólidos suspendidos (9 formas)			2	



✓ -Sólidos totales				
✓ -Sólidos totales fijos				
✓ -Sólidos totales volátiles				
✓ -Sólidos suspendidos totales				
✓ -Sólidos suspendidos fijos				
✓ -Sólidos suspendidos volátiles				
✓ -Sólidos disueltos totales				
✓ -Sólidos disueltos fijos				
✓ -Sólidos disueltos volátiles				
-Grasas y aceites		1		
-Amonio			1	
-Nitratos			1	
-Nitritos			1	
-Nitrógeno proteico			1	
-Fosfatos totales			1	
-Ortofosfatos			1	
-Coliformes			1	
Una vez que el laboratorio haya entregado los resultados de los análisis:				
2.- Calculo de la eficiencia de la laguna				
-DBO		1		
-DQO		1		
-Sólidos suspendidos totales			2	
-Coliformes			1	
3.-Calculo de la carga orgánica		1		
4.-Control sobre las siguientes condiciones				
-Lagunas sobrecargadas				X



-Evidencia de corto-circuitos				X
-Condiciones anaerobias en lagunas facultativas				X
-Altas DBO en el efluente				X
-Bajo oxígeno disuelto				X

\*Estas actividades requieren de especificaciones del fabricante.

4.19 Frecuencia de muestreo para el influente.

Parámetro	No. de veces/ mes
<b>Determinaciones de campo(1)</b>	
-pH	8
-Temperatura del agua	8
-Temperatura ambiente	8
-Oxígeno disuelto	8
-Conductividad eléctrica	8
<b>Determinación de laboratorio (2)</b>	
-pH laboratorio	4
-Temperatura laboratorio	4
-Alcalinidad	4
-DBO	4
-DQO	4
Sólidos suspendidos (9 formas)	2
✓ -Sólidos totales	
✓ -Sólidos totales fijos	
✓ -Sólidos totales volátiles	
✓ -Sólidos suspendidos totales	

✓ -Sólidos suspendidos fijos	
✓ -Sólidos suspendidos volátiles	
✓ -Sólidos disueltos totales	
✓ -Sólidos disueltos fijos	
✓ -Sólidos disueltos volátiles	
Sólidos sedimentables	4
Grasas y aceites	4
Nitrógeno orgánico	1
Nitrógeno amoniacal	1
Ortofosfatos	1
Coliformes	1

- (1) Muestra puntual  
(2) Muestra compuesta

4.20 Frecuencia de muestreo para el efluente.

Parámetro	No. veces/ mes
<b>Determinación de campo</b>	
-pH	
-Temperatura del agua	8
-Temperatura ambiente	8
-Conductividad eléctrica	8
-Sólidos sedimentables	8
<b>Muestra directa</b>	
-pH laboratorio	4
-Alcalinidad	4
-Sólidos suspendidos (9 formas)	2



✓ -Sólidos totales	
✓ -Sólidos totales fijos	
✓ -Sólidos totales volátiles	
✓ -Sólidos suspendidos totales	
✓ -Sólidos suspendidos fijos	
✓ -Sólidos suspendidos volátiles	
✓ -Sólidos disueltos totales	
✓ -Sólidos disueltos fijos	
✓ -Sólidos disueltos volátiles	
-Grasas y aceites	4
<b>Muestra sedimentada</b>	
-DBO	4
-DQO	4
-Nitrógeno orgánico	1
-Nitrógeno amoniacal	1
-Ortofosfatos	1
-Coliformes	1

## 14.7 4.7 Evaluación de un sistema lagunar.

Los parámetros mínimos a determinar son los de control de proceso y los que marque la normatividad o en su caso las condiciones particulares de descarga.

En la Tabla 4.21 se muestran los parámetros a medir para controlar el proceso.

Tabla 4.21. Parámetros de control del proceso.

Concepto	Frecuencia
Medición del flujo y observación de color, olor, presencia de burbujas y materia flotante.	Cada vez que se realice el muestreo
Toma de muestras para analizar: pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto y Sólidos Disueltos.	Dos veces por semana
Toma de muestras para analizar: DBO total, DBO soluble, DQO <sub>total</sub> , SST, SSV.	Quincenalmente para el control del proceso (toma de muestras en el influente y efluente de cada laguna)
Toma de muestras para analizar: Grasas y Aceites, SAAM y Coliformes fecales.	Semanalmente (efluente de la planta por normatividad)
N amoniacal, Nitritos, Nitratos, N protéico y Fósforo Total.	Mensual

Fuente: Curso Lagunas de Estabilización como alternativa de tratamiento de reúso agrícola – Tema Evaluación del funcionamiento de las lagunas de estabilización – Violeta Escalante E. – IMTA. 1995.

## 14.8 4.8 Registros y reportes

Un ejemplo de registro para la evaluación de un sistema lagunar se presenta a continuación:

Nombre del Sistema Lagunar

Fecha:

Nombre del operador:

1.Acontecimiento	Si	No
Levantamiento de lodo en algún punto de la laguna		
Manchas verdes en la superficie de la laguna:		
Anaerobia		
Facultativa		
Manchas negras en la laguna facultativa		
Aparición de vegetales:		
En la laguna		
En los taludes		
Evidencia de erosión en los taludes		
Alguna filtración visible		
Cercados en orden		
Presencia de insectos		
Presencia de aves		
Canales de lluvia limpios		
Medidor de caudal funcionando		
Malos olores		



Parámetro	Hora			Observaciones
	7:00	12:00	17:00	
Altura de la lámina en el medidor de caudal (cm)				
Caudal (L/s)				
Temperatura (°C)(*)				
Del aire				
De las aguas residuales				
Afluente				
Centro de la laguna				
Efluente				
Nivel de la lámina líquida en la laguna (m)				
pH				
Afluente				
Efluente				
Sólidos Sedimentables (ml/L)				
En las aguas residuales brutas				
En el efluente de la primera celda				
OD, a 20 cm bajo la superficie líquida				
Próximo al efluente de la laguna facultativa				

Condiciones meteorológicas (**)				
	Clasificación	Período		Observaciones
		7:00 a 12:00	12:00 a 17:00	
Tiempo	Sol brillante			
	Seminublado, con nubes			
	Nublado, sin sol			



Precipitaciones	Ausentes			
	Llovizna			
	Lluvia moderada			
	Lluvia fuerte			
Intensidad de vientos	Nula			
	Poco viento			
	Vientos moderados			
	Vientos fuertes			

(\*) Siempre que sea posible, mediciones horarias que cubran el periodo diurno o por lo menos a las 7:00, 9:00, 12:00, 13:00, 15:00, 17:00, 18:00 y 21:30 h.

(\*\*) Si existe estación meteorológica en el lugar, medir cuantitativamente horas de sol, temperatura del aire (máx, med, mín), precipitación, evaporación, dirección de los vientos, humedad del aire y nubosidad.

Fuente: Sistemas de lagunas de estabilización. –Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío-. Sergio Rolim Mendoza -Ed. Mc Graw Hill Colombia. 2000.

### **14.9 4.9 Medidas de seguridad.**

Para el monitoreo de la planta de tratamiento es necesario contar con el equipo de seguridad y material de higiene (botiquín de primeros auxilios que contenga suero antiviperino, guantes de hule de manga larga, jabón, alcohol).

Así como el material mínimo para el monitoreo permanente como son: frascos para el muestreo, equipo calibrado para mediciones de campo, formas de registro. Una caseta apropiada (con lavabo) donde pueda guardarse el material y tenga la facilidad para poder realizar las determinaciones de campo.

## 15 5. LODOS ACTIVADOS

### 15.1 5.1 Introducción.

El marco general de los procesos de tratamiento de aguas residuales es muy amplio; existen diversas clasificaciones, sin embargo, la más común es la que divide el tratamiento de las aguas residuales en:

- Pretratamiento.
- Tratamiento Primario.
- Tratamiento Secundario.
- Tratamiento Terciario o Avanzado.

El desglose de esta clasificación es muy amplio, pues solamente en tratamiento secundario hay una gran variedad de procesos, como:

- Lodos Activados y sus variantes.
- Filtros Rociadores.
- Biodiscos.
- Sistemas Lagunares.

- Sistemas Anaerobios

Como se observa, el proceso de lodos activados es un proceso biológico de tratamiento ubicado en lo que se conoce como Tratamiento Secundario; las unidades anteriores y posteriores a lo que es básicamente el proceso de lodos activados no serán vistas en este curso (pretratamiento, tratamiento primario, desinfección, tratamiento de lodos, tratamiento avanzado). La Fig. 5.1 es un diagrama de flujo de una planta de tratamiento de aguas residuales completa, mediante lodos activados. La Fig. 5.2 es solamente el proceso de lodos activados.



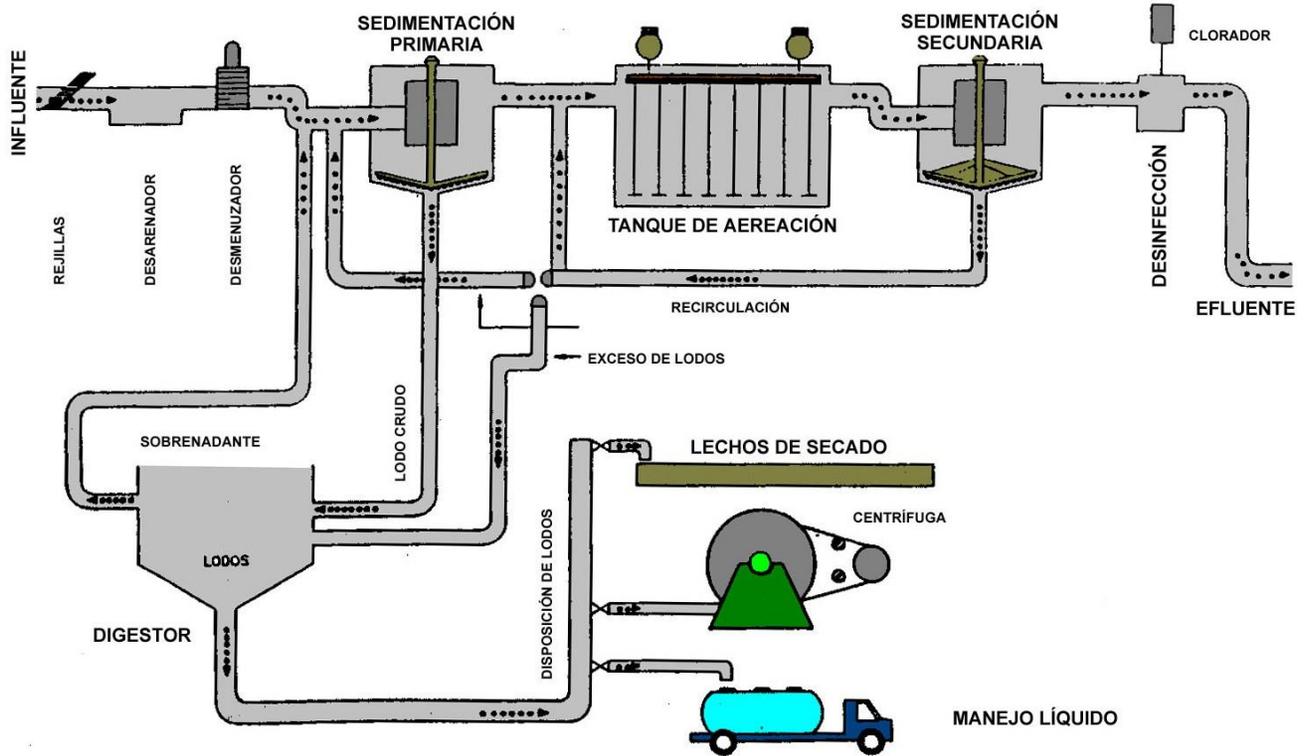


Fig. 5.1 Planta de tratamiento de lodos activados

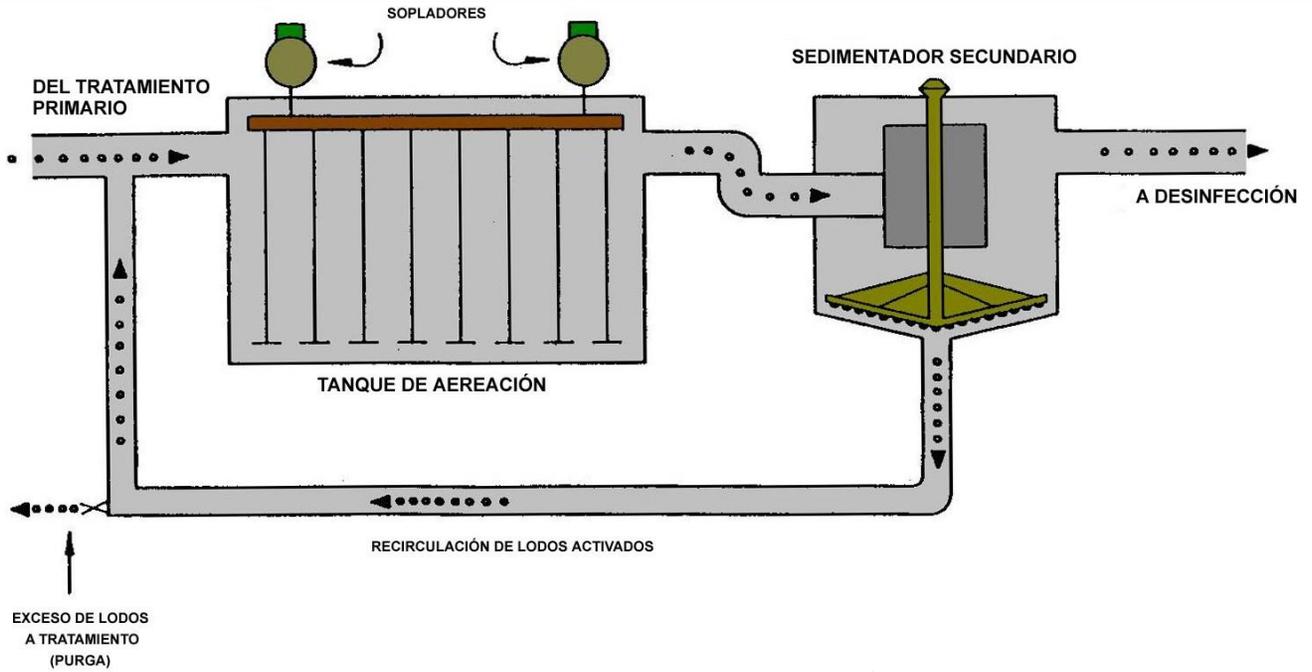


Fig. 5.2 Proceso de lodos activados

### **15.1.1 5.1.1 Historia del proceso de lodos activados.**

El proceso de lodos activados como tratamiento de aguas residuales fue desarrollado inicialmente en Manchester, Inglaterra, por Fowler, Arden, Munford y Lockett, en 1914.

Ya para 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. 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 F/M.

Hace 40 años se desarrollaron las ecuaciones derivadas de los conceptos de crecimiento cinético y los balances de masas; en años recientes se han diseñado modelos sofisticados por computadora. La solución de ecuaciones de diseño y los modelos computarizados 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 de las 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.

### **15.1.2 5.1.2 Lodos activados en México.**

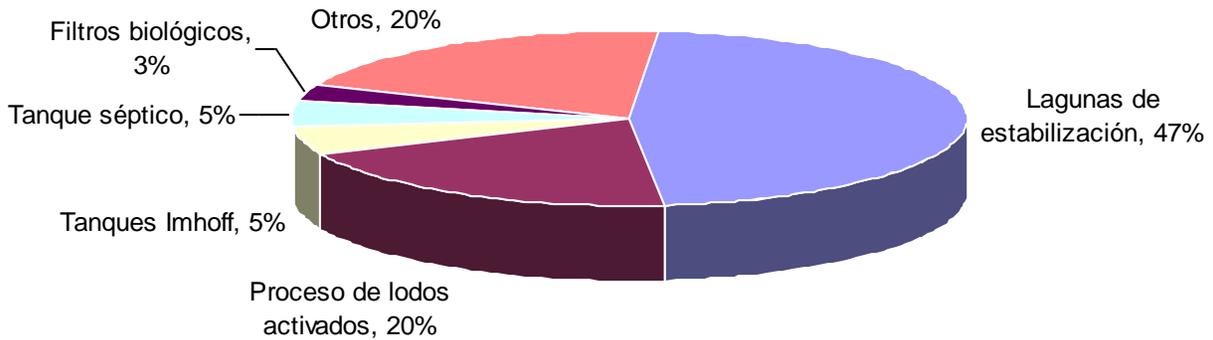
El sistema de lodos activados en México se inició en los años cincuenta; las plantas de tratamiento de aguas residuales de esa época eran concebidas para el reúso de las aguas tratadas para riego de áreas verdes, llenado de lagos y enfriamiento en la industria. Así fue como se construyeron las primeras plantas de este tipo en Monterrey, N.L., y en la Cd. de México.

El proceso de lodos activados como tratamiento de aguas residuales en México es muy antiguo y sigue vigente; según cifras de la Comisión Nacional del Agua el 20 % de las plantas del país son de lodos activados, tabla 5.1 y figura. 5.3 La tabla 5.2 presenta las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales por entidad federativa (diciembre de 2001).

Tabla 5.1 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales por región administrativa.

Región administrativa	No. Total de plantas	No. de plantas en operación	Capacidad instalada (L/s)	Caudal tratado (L/s)
I Península de Baja California	29	28	5434	4651.7
II Noroeste	84	70	3841.8	2568.6
III Pacífico Norte	102	94	6178.7	4426.7
IV Balsas	106	73	4858	2398.1
V Pacífico Sur	49	39	3210.5	1886.7
VI Río Bravo	119	107	20994.7	15237.6
VII Cuencas Centrales del Norte	36	31	1307.9	474.8
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	329	289	16063.9	10374.3
IX Golfo Norte	60	40	1116	653.2
X Golfo Centro	75	59	3873.2	788.9
XI Frontera Sur	48	21	1928.6	474.7
XII Península de Yucatán	40	37	1858.5	1204.3
XIII Valle de México	55	50	9956.4	5670.2
<b>Total</b>	<b>1132</b>	<b>938</b>	<b>80622.2</b>	<b>50809.8</b>

Fuente: Estadísticas de agua en México, SEMARNAT, CNA, edición 2003



FUENTE: Estadísticas de agua en México, SEMARNAT, CNA, edición 2003

Fig. 5.3 Principales procesos de tratamiento de aguas residuales

Tabla 5.2 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales por entidad federativa (diciembre de 2001).

Entidad Federativa	No. Total de plantas	No. de plantas en operación	Capacidad instalada (L/s)	Caudal tratado (L/s)
Aguascalientes	90	83	2724.8	2219.1
Baja California	13	13	4432	3893.2
Baja California Sur	16	15	1002	758.5
Campeche	13	12	135	40.5
Coahuila	15	6	1563.5	1022
Colima	33	29	545	436.5
Chiapas	16	5	797.6	110.7
Chihuahua	53	51	5124	3760.6
Distrito Federal	21	21	6278	3208
Durango	67	63	3311.9	1918.2
Guanajuato	20	16	3978	1666
Guerrero	24	23	2836	1636.7
Hidalgo	10	10	87.4	57.9

<b>Entidad Federativa</b>	<b>No. Total de plantas</b>	<b>No. de plantas en operación</b>	<b>Capacidad instalada (L/s)</b>	<b>Caudal tratado (L/s)</b>
Jalisco	87	74	2855.4	2259.5
México	45	41	6599.8	4245.6
Michoacán	18	9	1911	524
Morelos	30	18	1628.9	1057.5
Nayarit	56	49	1787.4	1111.6
Nuevo León	53	53	12187	8472.3
Oaxaca	34	25	594.5	366
Puebla	25	21	1009.2	556.9
Querétaro	47	42	912	660.9
Quintana Roo	17	15	1579	1024.3
San Luis Potosí	12	3	926	280
Sinaloa	43	42	2885.9	2586.9
Sonora	76	62	3786.8	2519.2
Tabasco	32	16	1131	364
Tamaulipas	22	15	2671	2365.2
Tlaxcala	45	29	1019.8	585.3
Veracruz	77	57	3997	812.7
Yucatán	10	10	144.5	139.5
Zacatecas	12	10	180.8	150.6
<b>Total</b>	<b>1132</b>	<b>938</b>	<b>80622.2</b>	<b>50809.9</b>

FUENTE: Estadísticas de agua en México, SEMARNAT, CNA, edición 2003

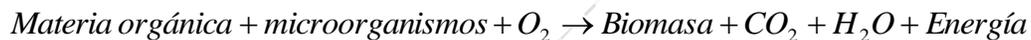
La alta eficiencia del proceso, así como la posibilidad de ampliar la planta de lodos activados ya sea para la remoción de nutrientes o para remover mayor cantidad de sólidos mediante tratamiento avanzado, hacen de este proceso un atractivo para descargas que requieren bajas concentraciones de nutrientes o para reúso.

La capacitación de personal involucrado con plantas de tratamiento a base de lodos activados es una necesidad en el país; muchas de las plantas existentes requieren un mejor control del proceso, y programas de mantenimiento funcionales y adecuados.

## 15.2 5.2 Conceptos básicos y variantes al proceso.

### 15.2.1 5.2.1 Descripción del proceso.

Este sistema de tratamiento biológico se desarrolla en un ambiente rico en oxígeno (aerobio), con microorganismos vivos 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 el proceso de lodos activados es un proceso controlado que mantiene a los microorganismos en un ambiente líquido. El mecanismo básico del sistema se representa de una manera simplista con la siguiente reacción biológica:



Los primeros microorganismos dirigen una parte de la materia orgánica absorbiéndola a través de su pared celular, produciendo ciertos productos de desecho, los que se utilizan 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.

#### 15.2.1.1 5.2.1.1 Componentes del sistema de lodos activados.

El proceso básico de lodos activados (Fig. 5.4) se integra de varios componentes que se interrelacionan entre sí:

1. Tanque de aeración (uno o varios) diseñado para un mezclado completo o trabajar como flujo pistón.
2. 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 oxígeno puro.
3. Sedimentador (uno o varios) para separar los sólidos biológicos (lodos activados) del agua tratada.
4. Un mecanismo para recolectar los sólidos biológicos del sedimentador y recircular la mayor parte de ellos al reactor biológico o tanque de aeración, en lo que se conoce como recirculación de lodos activados.

5. Un mecanismo para desechar el exceso de sólidos biológicos del sistema, lo que se conoce como purga de lodos.

En una planta municipal típica, un proceso de lodos activados bien diseñado y operado puede alcanzar efluentes con 20 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 20 mg/L de sólidos suspendidos. El proceso tiene capacidad para mayores eficiencias hasta de 10 mg/L de DBO y 15 mg/L se SS. Para alcanzar valores menores a estos últimos, se requiere tratamiento avanzado.

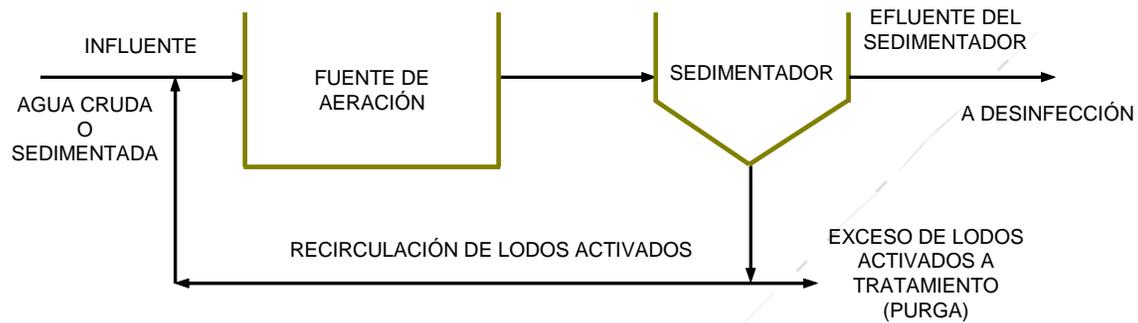


Fig. 5.4 Proceso básico de lodos activados.

### 15.2.2 5.2.2 Variantes al proceso de lodos activados.

Existen numerosas modificaciones al proceso de lodos activados. Hay varias maneras de tratar el agua residual biológicamente; el proceso de lodos activados es uno de los más comunes y eficientes. Existen también algunas modificaciones al proceso convencional de lodos activados que son usadas a menudo al diseñar estos sistemas. Las modificaciones se describirán de manera sencilla a continuación.

#### 15.2.2.1 5.2.2.1 Flujo pistón.

Las aguas residuales pasan a través del tanque de aeración como un flujo pistón.

En el modelo de flujo pistón, el agua residual es conducida a través de una serie de canales construidos en el tanque de aeración. La figura 5.5 muestra un diagrama del esquema de flujo pistón.

En el diagrama se observa que las aguas residuales fluyen a través del tanque de aeración como un pistón, y son tratadas al serpentear en el tanque. La concentración de materia orgánica (DBO) se reduce conforme el flujo avanza en el tanque.

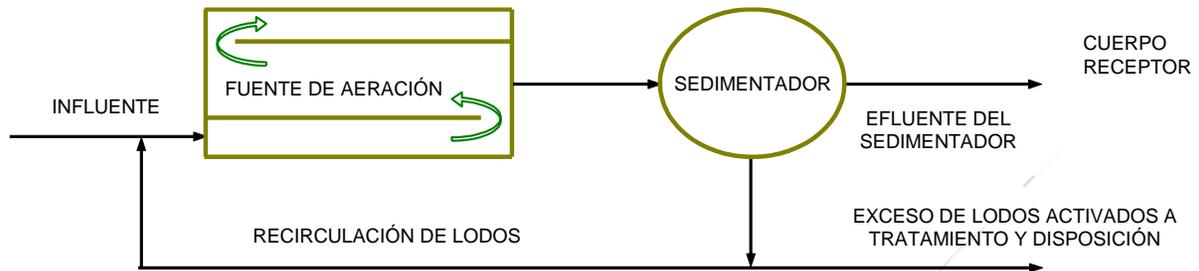


Fig. 5.5 Diagrama de flujo pistón del proceso de lodos activados

#### 15.2.2.2 5.2.2.2 Completamente mezclado.

Las aguas residuales están en mezclado completo en cualquier sitio dentro del tanque de aeración. En el modelo completamente mezclado (idealmente), toda el agua influente al tanque de aeración se mezcla instantáneamente con el oxígeno (abastecido con aire) y las bacterias (lodos activados) dentro del agua contenida en el tanque de aeración.

Un diagrama de flujo para este esquema se presenta en la figura 5.6.

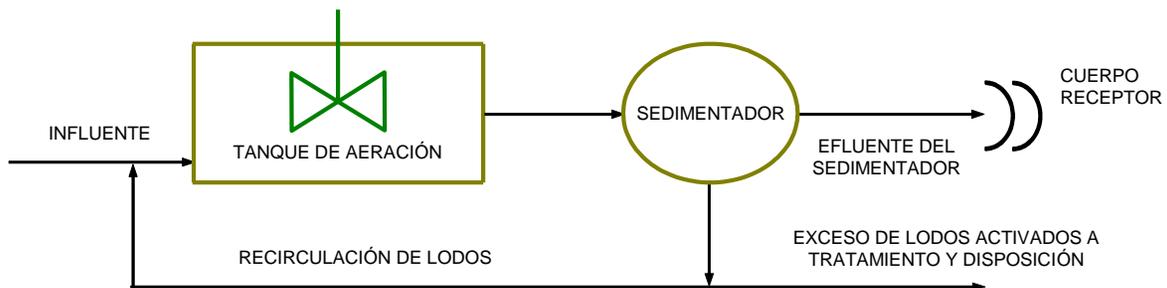


Fig. 5.6 Diagrama de flujo para mezcla completa del proceso de lodos activados (proceso convencional).

Una vez que el agua cruda está en mezclado completo con el oxígeno y las bacterias, la concentración de sólidos suspendidos volátiles y la demanda de oxígeno son homogéneos en todo el tanque. Este es el esquema más común del proceso de lodos activados.

### 15.2.2.3 5.2.2.3 Estabilización – contacto.

Otro esquema poco común en México del proceso de lodos activados, es la estabilización-contacto, la figura 5.7 muestra una planta con este proceso y la figura 5.8 un diagrama de flujo de esta modificación.

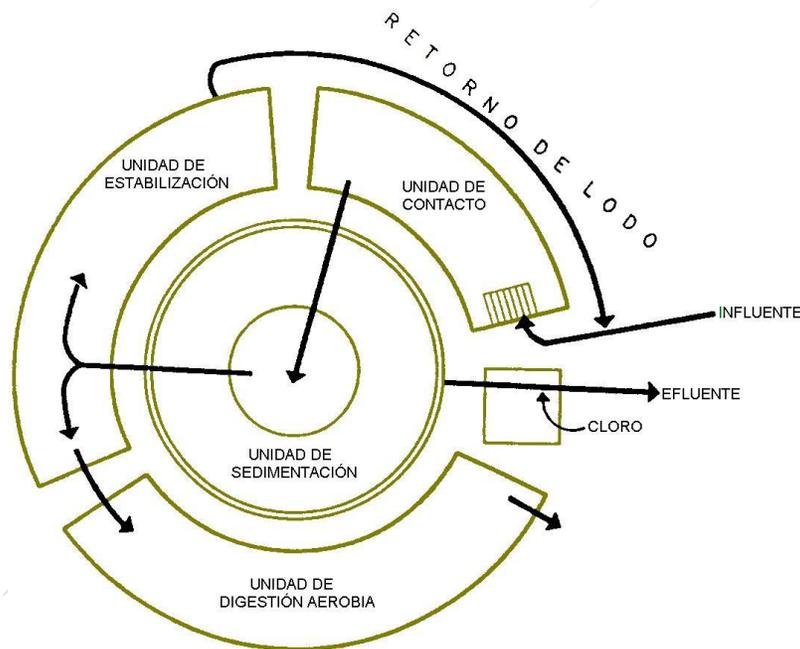


Fig. 5.7 Planta paquete con la modificación estabilización-contacto de lodos activados.

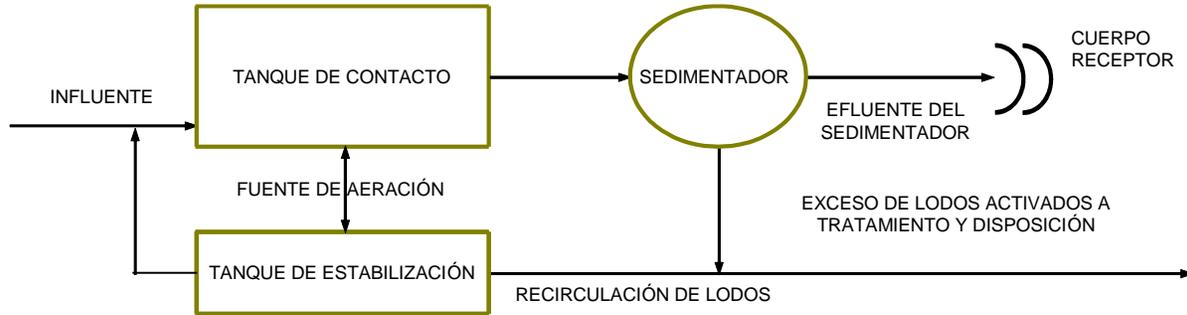


Fig. 5.8 Diagrama de flujo para la modalidad estabilización-contacto.

Bajo este modelo de operación, el agua cruda se introduce a un tanque de contacto donde es aerada y mezclada con las bacterias; en este tanque los microorganismos entran en contacto con la materia orgánica soluble e insoluble, la que pasa a través de la membrana celular de las bacterias, y la materia orgánica sólida es adaptada por los microorganismos. Los sólidos biológicos son sedimentados posteriormente en el clarificador secundario, y después desechados del sistema o conducidos al tanque de estabilización donde los microorganismos son aerados sin recibir influentes de agua cruda (digestión aerobia).

En el tanque de estabilización, las bacterias digieren (estabilizan) la materia orgánica que han asimilado en el tanque de contacto. Una vez que han digerido esta materia y requieren alimento adicional, son recirculadas al tanque de contacto. Debido a que tienen que usar el alimento almacenado en su cuerpo durante el tiempo que permanecen en el tanque de estabilización al pasar al de contacto asimilan rápidamente la materia orgánica proveniente del agua cruda, por esta razón el tiempo de retención requerido se minimiza y consecuentemente, el tamaño del tanque de contacto es mucho menor que el de los tanques requeridos en otras opciones del proceso. Además, esto hace que en algunos sistemas, que cuentan con esta modificación, omitan el sedimentador primario.

El volumen para el tanque de estabilización es menor a los tanques de aeración convencionales, ya que solo recibe los lodos activados del sedimentador secundario y ningún influente de agua cruda.

#### 15.2.2.4 5.5.2.4 Aeración extendida.

La aeración extendida es usada para tratar aguas residuales industriales. La modificación al sistema de lodos activados denominada Aeración Extendida es usada comúnmente para tratar aguas residuales de origen

industrial que contienen principalmente materia orgánica soluble y las bacterias necesitan amplios tiempos de retención para desdoblar las sustancia complejas de este tipo de residuos. La figura 5.9 muestra un diagrama de flujo.

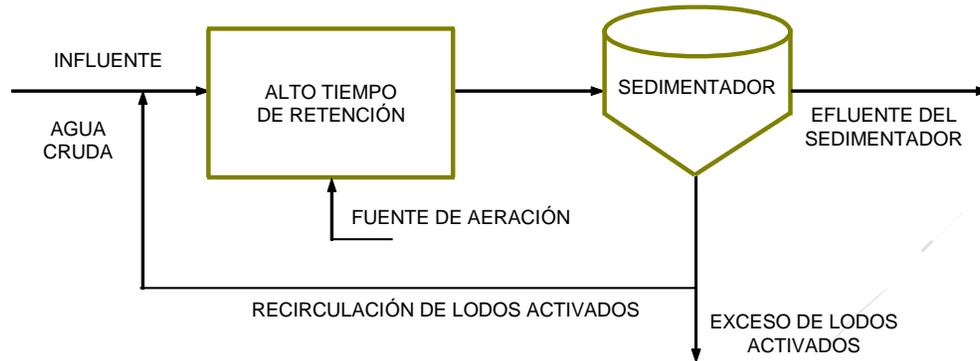


Fig. 5.9 Aeración extendida.

El modelo de esta modificación es similar al completamente mezclado, con la característica de tener altos tiempos de aeración (aeración extendida). Una ventaja de este proceso es que el largo tiempo de retención en el tanque de aeración proporciona una mayor homogeneización del agua cruda, aceptando el proceso cambios bruscos en cargas hidráulicas y orgánicas. Una segunda ventaja es que se producen menos lodos de desecho pues algunas bacterias son digeridas en el tanque de aeración. Ambas ventajas hacen de este sistema uno de los más simples de operación en el marco de los lodos activados.

#### 15.2.2.5 5.2.2.5 Zanjas de oxidación.

Normalmente se usa un tanque de aeración circular. Las zanjas de oxidación son similares al modelo de flujo pistón, con la característica que el tanque de aeración es circular o elipsoidal (llamado zanja de oxidación).

En estos sistemas es común utilizar “cepillos” rotatorios para transferir el oxígeno requerido al reactor, colocados a lo ancho del mismo, aunque en los últimos diseños se han llegado a colocar aeradores superficiales. El diagrama de la modificación se muestra en la figura 5.10.

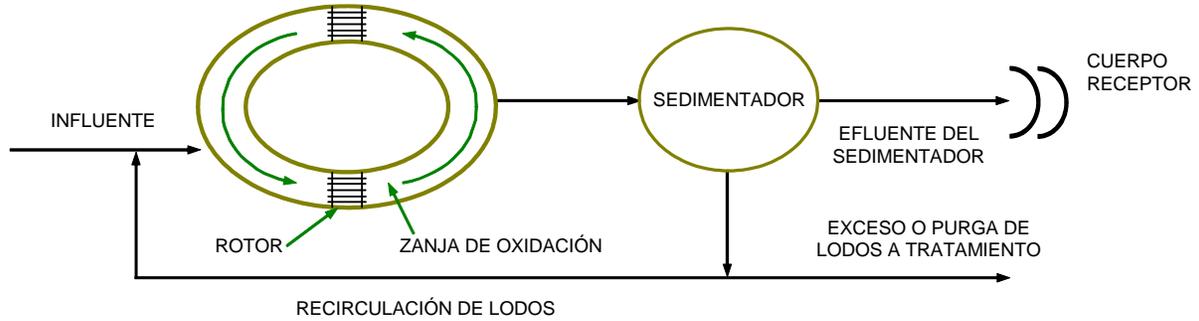


Fig. 5.10 Diagrama de flujo para la modalidad zanja de oxidación

#### 15.2.2.6 5.2.2.6 Alimentación escalonada (a pasos).

La modificación al proceso de lodos activados denominada alimentación escalonada, se refiere a la conexión del influente al reactor (del tipo de flujo pistón) en múltiples puntos a lo largo del tanque, en lugar de tener el influente en un solo punto, normalmente en un extremo del tanque como es el caso del proceso convencional. Un diagrama de flujo simplificado se observa en la figura 5.11.

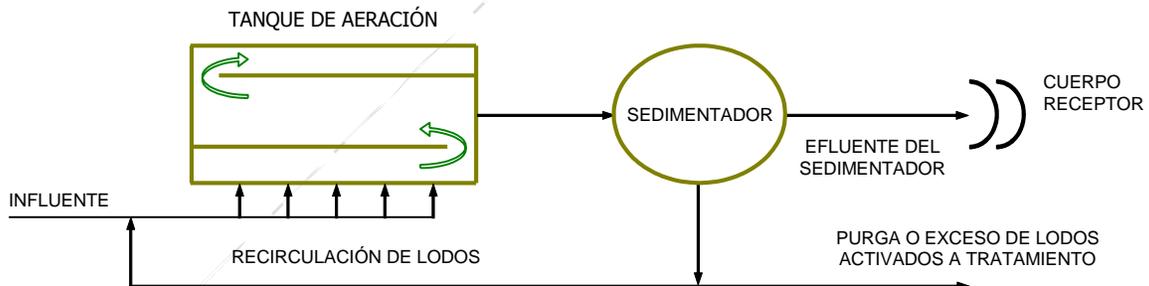


Fig. 5.11 Diagrama de flujo para la modalidad de alimentación escalonada del proceso de lodos activados.

En esta modalidad, la materia orgánica se distribuye a lo largo del tanque de acuerdo con la dirección del flujo; esto permite que las bacterias digieran y asimilen los materiales orgánicos a su paso por el tanque de aeración del tipo flujo pistón.

Este esquema de alimentación ayuda a mantener un balance adecuado entre el alimento y los microorganismos a todo lo largo del tanque de aeración.

### 15.2.2.7 5.2.2.7 Aeración reducida.

Esta modificación utiliza el esquema de flujo pistón; el influente entra por un extremo del tanque; en este punto, la cantidad de materia orgánica es muy alta y consecuentemente la demanda de oxígeno por las bacterias. Conforme el agua se mueve a través del tanque de aeración, la materia orgánica es removida gradualmente; como la cantidad de alimento disminuye, la demanda de oxígeno también; de esta manera, el resultado es que se abastece mayor cantidad de aire a la entrada del tanque donde la demanda por los microorganismos es mayor y se va reduciendo la cantidad de aire a lo largo del tanque, del mismo modo que el alimento y los microorganismos. El diagrama de flujo del esquema se presenta en la figura 5.12.

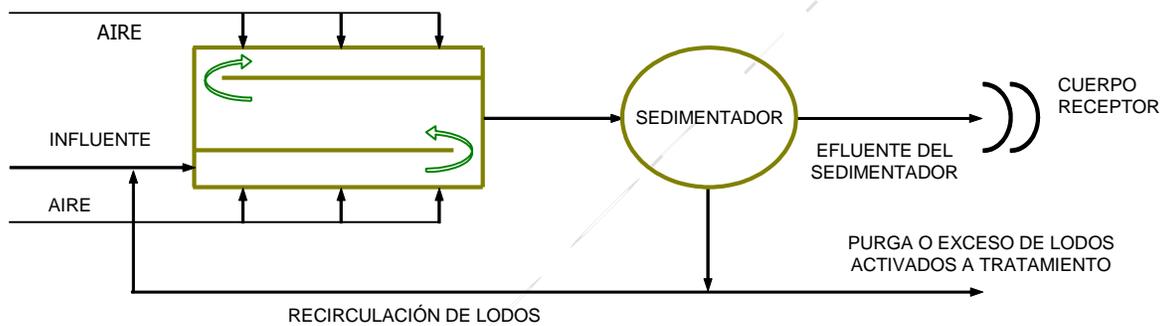


Fig. 5.12 Diagrama de flujo para la modalidad de aeración reducida en el proceso de lodos activados.

### 15.2.2.8 5.2.2.8 Oxígeno puro.

La modificación al proceso de lodos activados utilizados oxígeno de alta pureza, normalmente se realiza en tanques cerrados configurados en serie. Las aguas residuales, la recirculación y el oxígeno como gas, se introducen en la primera etapa del sistema y fluyen a través de los tanques. Los tanques son cubiertos para retener el oxígeno y permitir que se utilice la mayor parte de éste.

La disolución del oxígeno y la mezcla se realiza con aeradores superficiales o con sistemas de turbinas sumergidas. La figura 5.13 muestra un diagrama del sistema.

Un aspecto importante es la fuente para obtener el oxígeno de alta pureza, siendo las posibles fuentes: oxígeno líquido almacenado y la generación *in situ*. El oxígeno líquido almacenado puede utilizarse en pequeñas plantas de hasta 175 l/s.

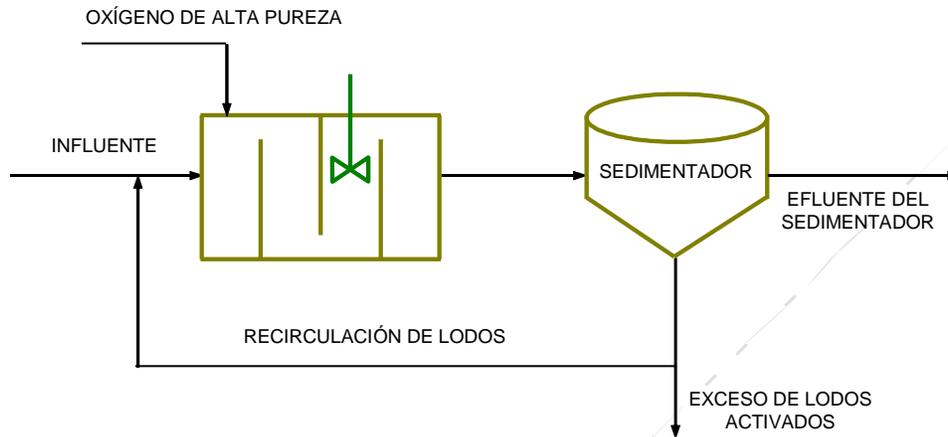


Fig. 5.13 Oxígeno puro.

#### 15.2.2.9 5.2.2.9 Proceso Kraus.

Otra modificación al proceso de lodos activados es el esquema conocido como Proceso Kraus. El diagrama de flujo respectivo se muestra en la figura 5.14.

El lodo anaeróbiamente digerido y el sobrenadante del digester se añaden a los lodos de recirculación.

Esta modificación utiliza lodos digeridos anaeróbiamente y el sobrenadante del digester para ayudar a mejorar las propiedades de sedimentación de los lodos activados o flóculos biológicos. Como se observa en la figura 5.14, una parte del lodo de recirculación del sedimentador secundario es mezclado con lodos anaeróbiamente digeridos y con el sobrenadante del digester en un tanque de reaeración.

El lodo dirigido anaeróbiamente es muy denso y sedimenta rápidamente, mientras que el lodo activado es más ligero; la mezcla agrega peso a estos últimos, favoreciendo la sedimentación.

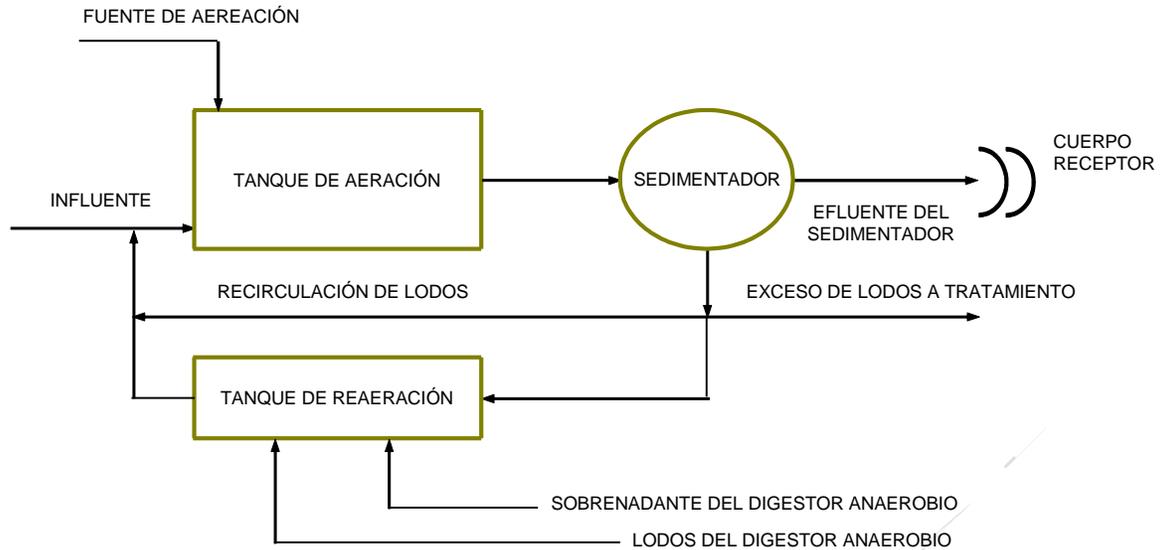


Fig. 5.14 Diagrama de flujo para la modalidad Kraus del proceso de lodos activados.

### 15.2.3 5.2.3 Factores relacionados con el proceso.

Existen diversas condiciones para el correcto funcionamiento de las plantas; a continuación se mencionan los principales factores que afectan la operación de plantas de lodos activados.

#### 15.2.3.1 5.2.3.1 Variaciones en el influente que afectan el proceso.

Cualquier cambio significativo en las características del agua cruda afectará el desarrollo de los microorganismos del sistema de tratamiento; si la carga de  $DBO_5$  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.

Además no toda la  $DBO_5$  (alimento) es utilizada por los microorganismos, y una parte pasará directamente al sedimentador secundario y al efluente de la planta.

Si por el contrario, la carga orgánica ( $DBO_5$ ) decrece, no habrá suficiente alimento para los microorganismos y disminuirán 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 en otro capítulo.

#### *5.2.3.1.1 Nutrientes.*

Los nutrientes presentes en 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 que de la falta de nitrógeno inhibe la producción de nuevas células. Al agregar nutrientes al agua cruda, se debe pensar en dejar un remanente o nutrientes residuales en el efluente de la planta.

#### *5.2.3.1.2 Oxígeno disuelto (OD).*

Para mantener viva la población aerobia, se debe agregar oxígeno al tanque de aeración.

La variación temporal de la demanda de oxígeno en el sistema hace que se tenga también una variación en la cantidad de oxígeno que se debe proporcionar, y mantener así la concentración en los valores deseados. 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 disuelto en el agua se reduce). Ambos fenómenos pueden dar como resultado que se requiera mayor cantidad de oxígeno en el sistema durante el verano para mantener la misma concentración de oxígeno disuelto.

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 requisitos de aire en el sistema.

#### *5.2.3.1.3 Tiempo de retención.*

Los microorganismos deben tener suficiente tiempo para proporcionar el tratamiento.

El tiempo de retención hidráulica del tanque de aeración o la cantidad de tiempo que las bacterias están en contacto con el alimento de las aguas crudas, es un importante factor de operación. Se debe dar el tiempo suficiente para permitir que las bacterias asimilen la materia orgánica presente en el agua residual. 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  $DBO_5$ .

También es importante este concepto de tiempo de retención para los tanques sedimentadores; en ellos se debe permitir que los flóculos de lodos activados se sedimenten en tiempo razonable. El tiempo de retención es un parámetro donde el operador tiene poco control.

#### *5.2.3.1.4 pH.*

Se debe vigilar que el pH se mantenga en ciertos límites dentro de las unidades de proceso de la planta principalmente en el tanque de aeración, para mantener a los microorganismos saludables y activos en el sistema. En la figura 5.15 se observa la actividad biológica de acuerdo con los valores de pH en el tanque de aeración. Las bacterias pueden sobrevivir en el rango de pH entre 5.0 y 10.0 y reproducirse entre los valores de pH de 6.5 y 8.5. Abajo de 6.5, los hongos predominan sobre las bacterias y se tendrá una baja remoción de  $DBO_5$  y una pobre sedimentación.

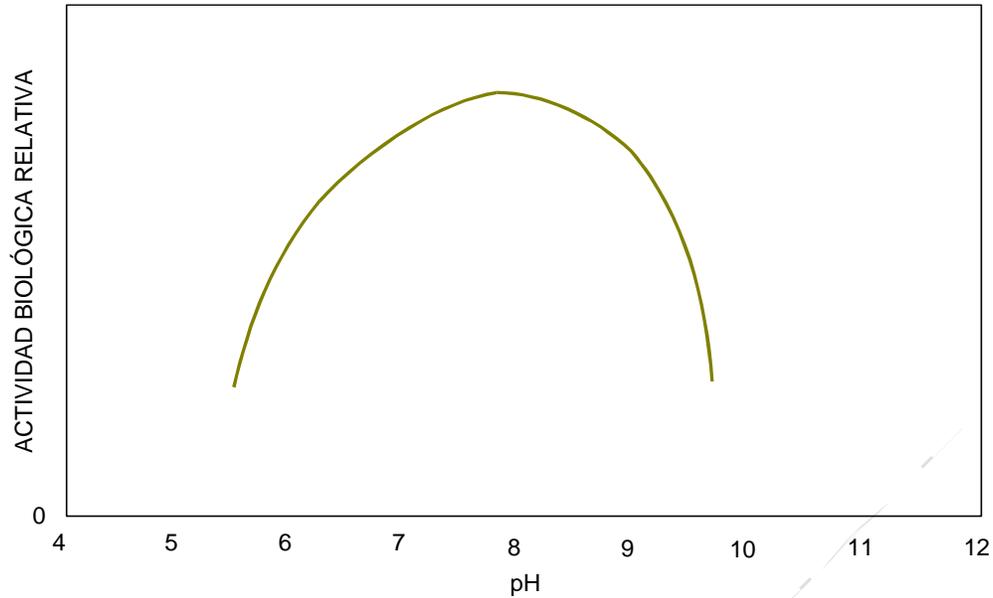


Fig. 5.15 Niveles de pH y actividad biológica.

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 DBO<sub>5</sub>.

En condiciones extremas por arriba o por abajo del rango mencionado (5.0-10.0), la población biológica de la planta morirá.

#### 5.2.3.1.5 Toxicidad.

La toxicidad normalmente es atribuida a altas concentraciones de metales pesados, tales como cobre, plomo, zinc, u otro tipo de compuestos orgánicos.

Se pueden presentar dos tipos de toxicidad: crónica o aguda.

La toxicidad aguda puede presentarse rápidamente; en cuestión de horas, la población biológica del tanque de aeración puede morir, lo que hace que este tipo de toxicidad sea detectada rápidamente, mientras que la toxicidad crónica se presenta lentamente haciendo difícil su identificación.

La toxicidad aguda se muestra con altas concentraciones de sustancias tóxicas, tales como cianuro o arsénico que son descargados al sistema de alcantarillado de la planta.

La toxicidad crónica se presenta cuando un elemento, por ejemplo, cobre, aumenta gradualmente dentro de las bacterias, donde las bacterias son recirculadas una y otra vez en el sistema.

Como la concentración del elemento tóxico se incrementa dentro de los microorganismos, el nivel tóxico es alcanzado disminuyendo su actividad celular hasta que mueren. El análisis de concentración de metales presentes en los lodos del sedimentador secundario de la planta puede detectar problemas potenciales por toxicidad crónica.

#### *5.2.3.1.6 Temperatura.*

Dentro de ciertos límites: a mayor temperatura aumenta la actividad bacteriana y viceversa.

Un importante factor de operación, aunque el operador tiene control sobre él, es la temperatura del agua residual. La temperatura afecta directamente el nivel actividad de las bacterias en los sistemas de lodos activados. Las relaciones entre temperatura y actividad biológica se pueden observar en la figura 5.16.

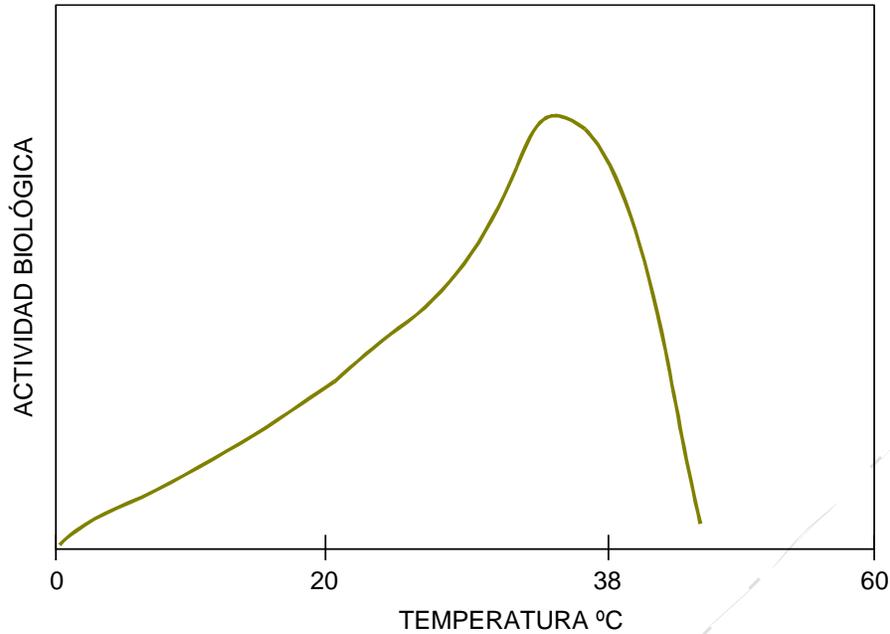


Fig. 5.16 Temperatura y actividad biológica

El rango óptimo de temperatura para la actividad bacteriana aerobia 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.

Para compensar los cambios de temperatura en las diferentes estaciones del año, se deben incrementar los SSVLM en invierno y disminuirlos en verano. Durante los meses de invierno la actividad biológica baja y los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aeración necesitan incrementarse y en el verano por condiciones inversas; los SSVLM deben reducirse, ya que cada bacteria asimilará más de materia orgánica por su 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.

#### *5.2.3.1.7 Mezcla.*

Es deseable un tanque de aeración 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 sí, las bacterias formarán un flóculo que sedimentará en la unidad subsecuente del sistema.

El tanque de aeración con mezclado completo evita los cortocircuitos que podrían formarse.

Existen varios indicadores de mezclado. Uno es la formación de depósitos de sólidos en las esquinas del tanque de aeración. Cualquier acumulación significativa en las esquinas puede detectarse con un palo, largo o mediante equipo para sacar muestras del fondo. Un segundo indicador es la detección de zonas con concentraciones de cero oxígeno disuelto en el tanque de aeración, mediante un oxímetro portátil. Un tercer indicador es la detección de 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.

#### *5.2.3.1.8 Gasto.*

El gasto de entrada afecta la operación de una planta de tratamiento y se relaciona directamente con otros factores. 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 operación. El gasto de entrada es un factor donde el operador tiene poco o nulo control, por lo que es recomendable contar con un sistema de "by pass" cuando se presenten caudales mayores al de diseño.

### **15.3 5.3 Sistemas de aeración.**

#### **15.3.1 5.3.1 Equipos de aeración.**

Se consideran el corazón de las plantas de lodos activados. Los microorganismos aerobios no pueden vivir sin la transferencia de oxígeno en el tanque de aeración.

La simulación de lo que sucede en las corrientes, donde en forma natural el agua se oxigena con la velocidad y cambios de dirección del río y otros factores, se logra artificialmente con dos tipos de sistemas, uno con base en aeradores mecánicos y otro mediante aeración por difusión.

#### *15.3.1.1 5.3.1.1 Aeradores mecánicos.*

La aplicación más usual de 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.

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 rocío causado por la aeración no deben contaminar el aire; esto es importante en plantas cercanas a zonas residenciales.
4. Los aeradores requieren bajo mantenimiento, flexibilidad de operación y control del equipo.

Los aeradores mecánicos dan 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. La tabla 5.3 muestra la diversidad de aeradores mecánicos, divididos en dos grandes grupos, los de eje vertical y los de eje horizontal. Las figuras 5.17 a 5.23 muestran diagramas de aeradores mecánicos. La eficiencia de transferencia de oxígeno se puede consultar en la tabla 5.4.

Tabla 5.3 Diversidad de aeradores mecánicos.

<b>CON EJE HORIZONTAL</b>	SUMERGIDOS	TIPO PALETAS TIPO CANASTA COMBINADOS	
	SUPERFICIALES	TIPO ASPAS TIPOS DISCO	
<b>CON EJE VERTICAL</b>	SUMERGIDOS	POROSOS	DISCOS POROSOS CON AIRE FORZADO
		IMPULSOR	SUCCIÓN DE AIRE AIRE FORZADO
		TURBINA	CON TIRO MECÁNICO DE AIRE AIRE FORZADO
	SUPERFICIALES	FLUJO DESCENDENTE	TURBINA ABIERTA TURBINA CERRADA AIRE FORZADO
		FLUJO ASCENDENTE	CENTRÍFUGOS RADIAL – AXIAL AXIAL

Tabla 5.4 Rangos de eficiencia de aeración para diversos aeradores mecánicos.

TIPO DE AERADOR	EFICIENCIA DE AERACIÓN	
	kg O <sub>2</sub> /kw-h	
	ESTÁNDAR	CAMPO
Superficiales centrífugos de baja velocidad	1.2 – 3.0	0.7 – 1.4
Superficiales centrífugos con tubo de succión	1.2 – 2.8	0.7 – 1.3
Superficiales axiales de alta velocidad	1.2 – 2.2	0.7 – 1.2
Flujo descendente con turbina abierta	1.2 – 2.4	0.6 – 1.2
Flujo descendente con turbina cerrada	1.2 – 2.4	0.7 – 1.3
Turbina sumergida	1.2 – 2.0	0.7 – 1.1
Impulsor sumergido	1.2 – 2.4	0.7 – 1.1
Rotor superficial	0.9 – 2.2	0.5 – 1.1



Fig. 5.17 Aerador mecánico de eje vertical y baja velocidad.

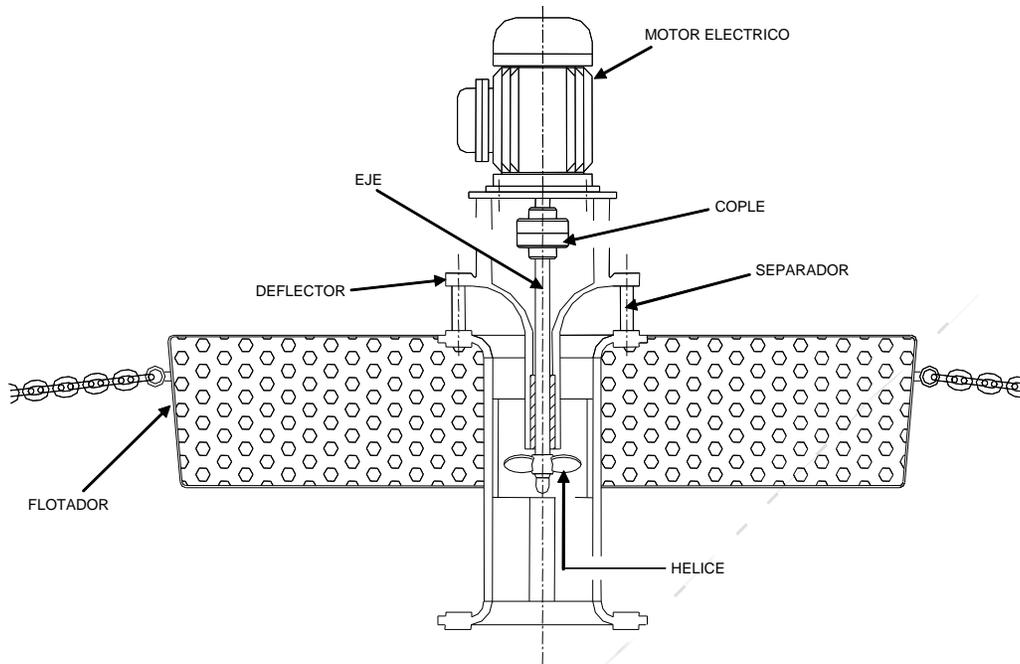


Fig.5.18 Aerador superficial flotante de eje vertical y alta velocidad, con impulsor.

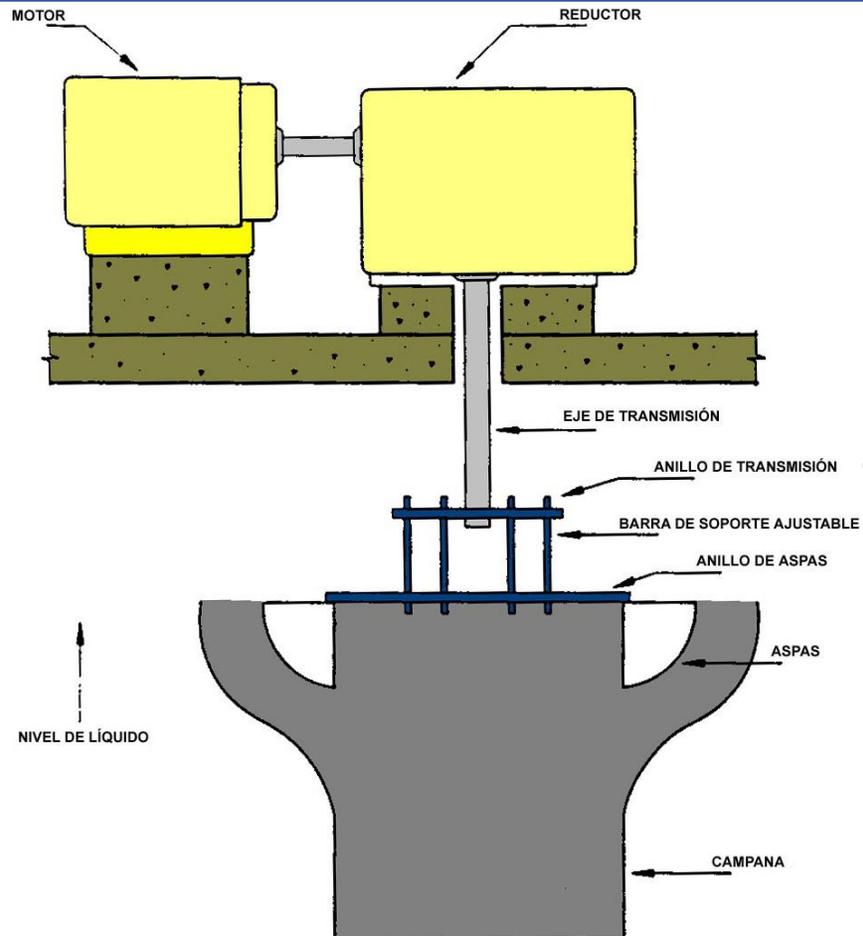


Fig. 5.19 Aerador mecánico de eje vertical tipo aspas.

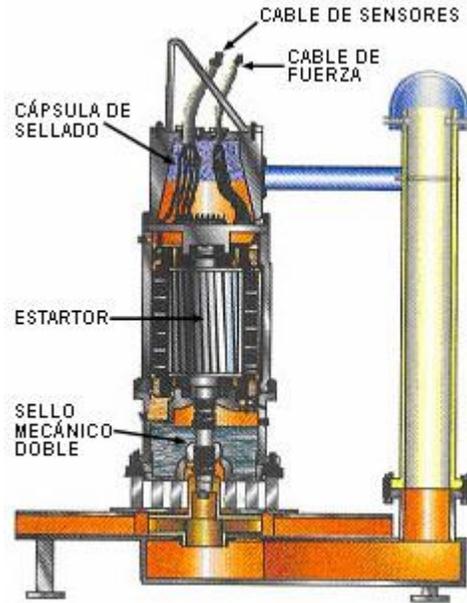


Fig. 5.20 Aerador mecánico eje vertical de turbina flujo ascendente.

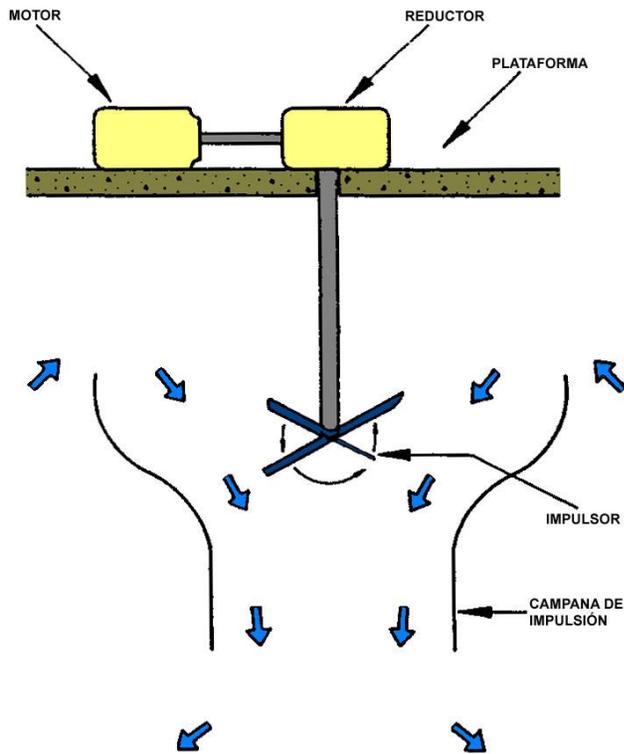


Fig. 5.21 Aerador mecánico eje vertical impulsor de flujo descendente.



Fig. 5.22 Aerador mecánico sumergido de baja velocidad.

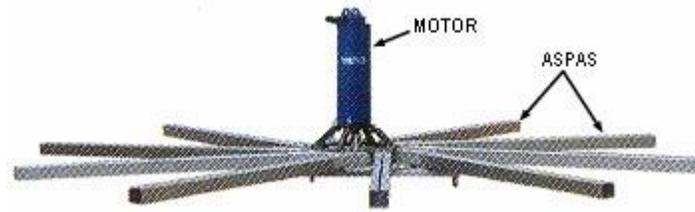


Fig.5.23 Aerador mecánico axial con aspas abiertas.

### 5.3.1.1.1 Consideraciones en la operación y mantenimiento

La operación efectiva del equipo de aeración mecánica debe minimizar el consumo de energía y maximizar su funcionamiento. La operación y mantenimiento se enfocará al control de la concentración de oxígeno disuelto en el líquido aerado; proporcionar la mezcla mínima requerida en el sistema y proporcionar el servicio e inspección necesaria sin interrumpir la operación.

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, y se muestran en la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Técnicas de control de la concentración de oxígeno con aeradores mecánicos.

TIPO DE AERADOR	TÉCNICA			
	SUMERGENCIA	VELOCIDAD	AIRE	ENCENDIDO APAGADO
Superficiales centrífugos de baja velocidad	SI	SI	NO	SI
Superficiales axiales de alta velocidad	NO	NO	NO	SI
Flujo descendente turbina abierta	POSIBLE	POSIBLE	NO	SI

Flujo descendente turbina cerrada	POSIBLE	POSIBLE	NO	SI
Flujo descendente turbina cerrada con aire forzado	NO	NO	SI	SI
Turbina sumergida	NO	NO	SI	NO
Impulsor sumergido	NO	NO	NO	SI
Rotor superficial y disco	SI	SI	NO	SI
Eje horizontal aeración mecánica	NO	NO	SI	SI

El mantenimiento de aeradores mecánicos involucra lo siguiente:

1. Mantenimiento preventivo periódico, tal como engrasado y aceitado de engranes y baleros, revisión de cables eléctricos y mecanismos de fijación, revisión del desgaste de bandas, etc.
2. Registro de datos de uso de energía, sumergencia de aeradores, gasto de aeradores, gasto de aire (si aplica).
3. Registro de datos de tiempos de uso, tiempos de reparación.
4. Análisis de la falla de equipos, interrupciones de la operación, mantenimiento de sopladores y tubería con equipos combinados.

#### *15.3.1.2 5.3.1.2 Aeración por difusión*

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

La aeración por difusión es definida como la inyección de gas (aire u oxígeno) a presión bajo la superficie líquida. Todos los equipos que se describirán alcanzan esta definición.

La industria del tratamiento de aguas residuales ha introducido una gran variedad de equipos de difusión de aire. La clasificación tradicional mencionaba los difusores de burbuja gruesa, y los de burbuja fina. Esta clasificación aparentemente da idea de la eficiencia de transferencia de oxígeno; sin embargo, no existe un valor para diferenciar si una burbuja es gruesa o fina. Por esta razón, la clasificación actual se hace por las características físicas de los difusores, dividiéndolos en tres categorías: Difusores porosos, Difusores no porosos y otros mecanismos de difusión.

### 5.3.1.2.1 Difusores porosos

Su uso les ha ganado renovada popularidad debido a la relativamente alta eficiencia de transferencia de oxígeno mostrada (Fig. 5.24). Se han utilizado numerosos materiales para fabricar este tipo de difusores: rígidos de cerámica o plástico y flexibles de plástico o tela. De acuerdo con su forma se pueden encontrar difusores porosos de placa, domos, discos y tubos.

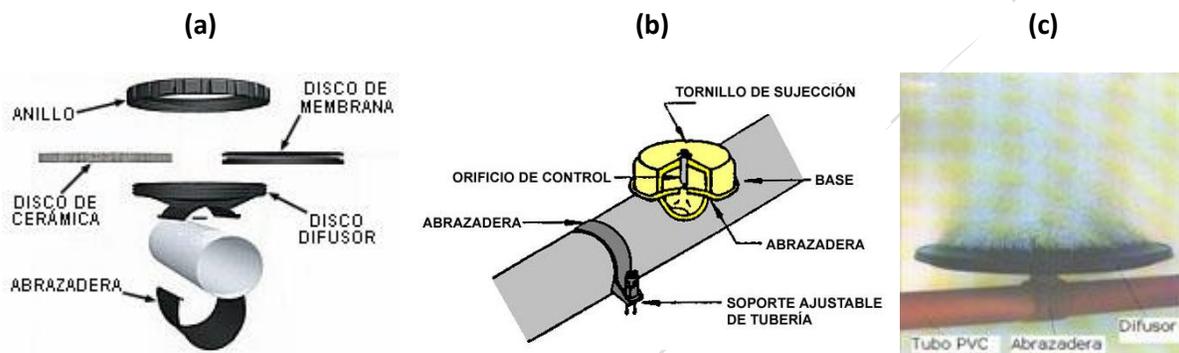


Fig. 5.24 Difusores porosos: a) disco, b) domo, c) disco perforado.

### 5.3.1.2.2 Difusores no porosos

Difieren de los porosos por tener grandes orificios (comparados con los poros) o agujeros que no se obstruyen fácilmente. Se encuentran en una amplia variedad de materiales y formas. Los difusores de orificio fijo varían desde simples huecos taladrados hasta ranuras especialmente configuradas en tuberías metálicas o plásticas.

Los difusores con orificio y válvula caen también en esta categoría, así como los difusores estáticos y las mangueras perforadas (Fig. 5.25).

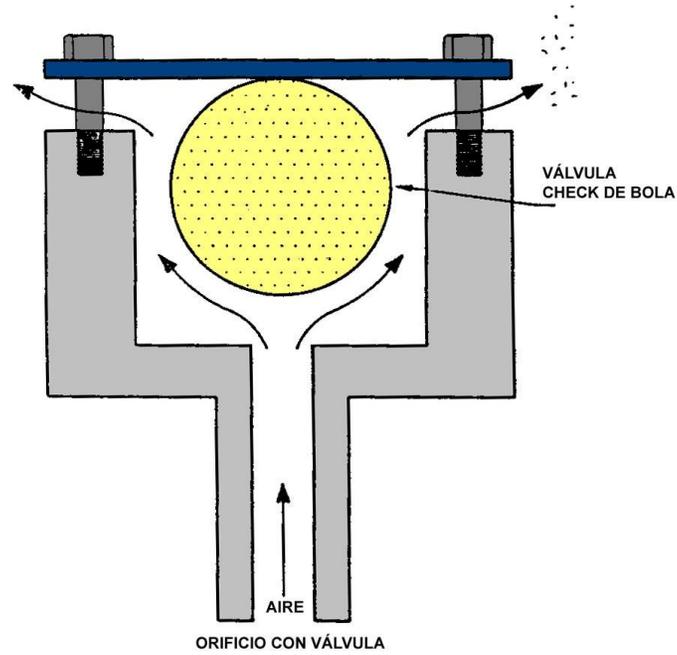


Fig.5.25 Difusores no porosos.

### 5.3.1.2.3 Otros sistemas de difusión

Dentro de la clasificación se separaron los mecanismos híbridos como los sistemas de Jet, mecanismos aspirantes como las bombas aspiradoras de propela, y la aeración en tubos U; se pueden observar en las figuras 5.26 a 5.29.

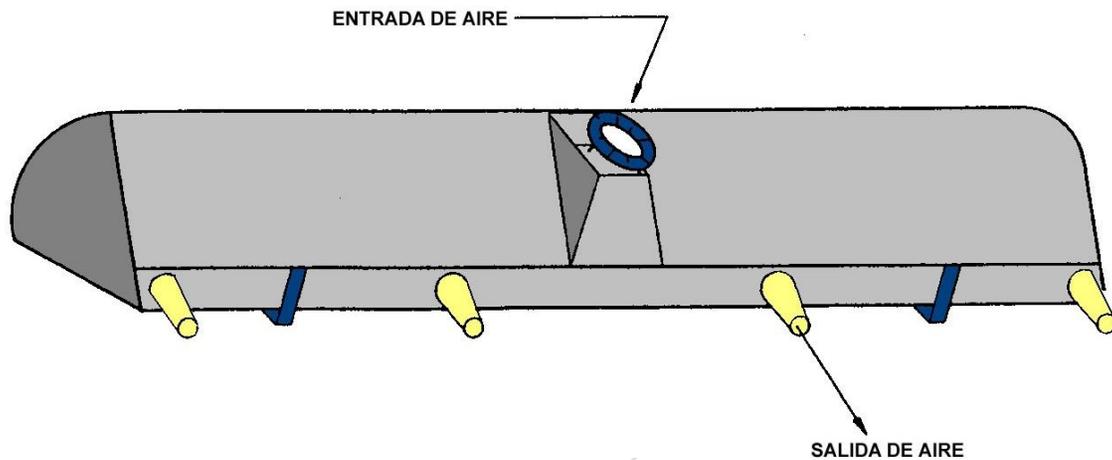


Fig. 5.26 Aerador tipo Jet Direccional.



Fig. 5.27 Mecanismo aspirante de propela (tipo cañón).

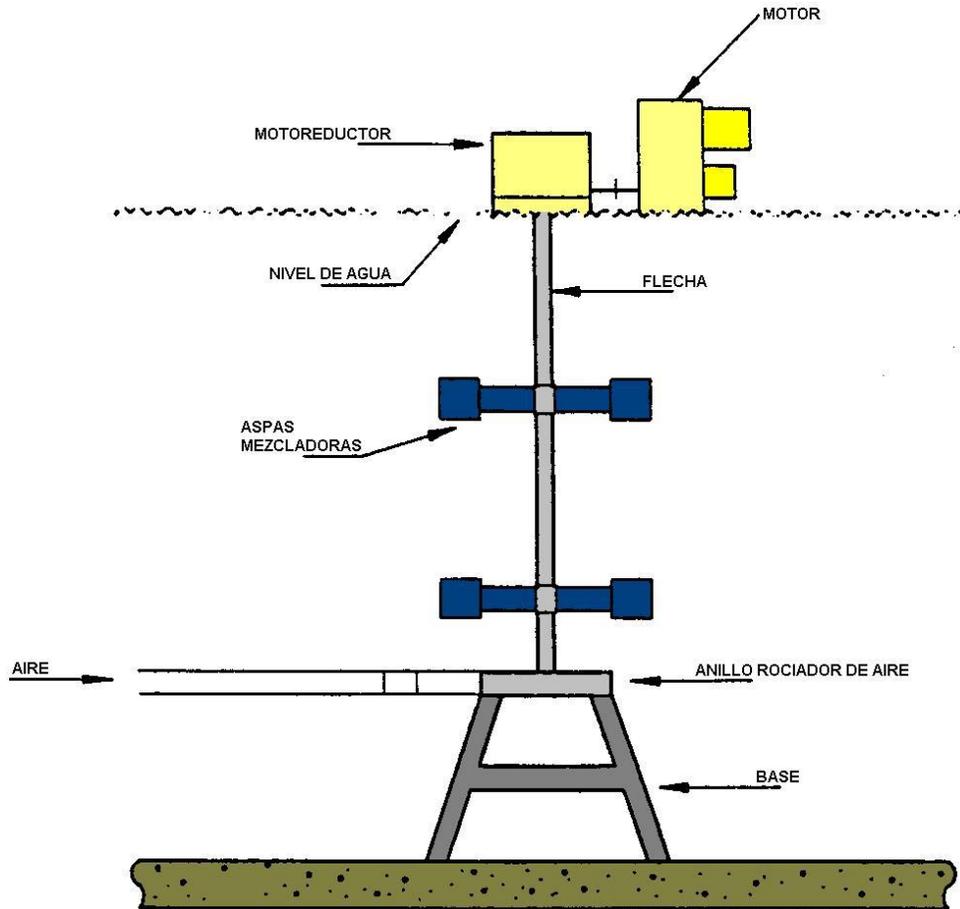


Fig. 5.28 Aerador de turbina con aire forzado (rociador).

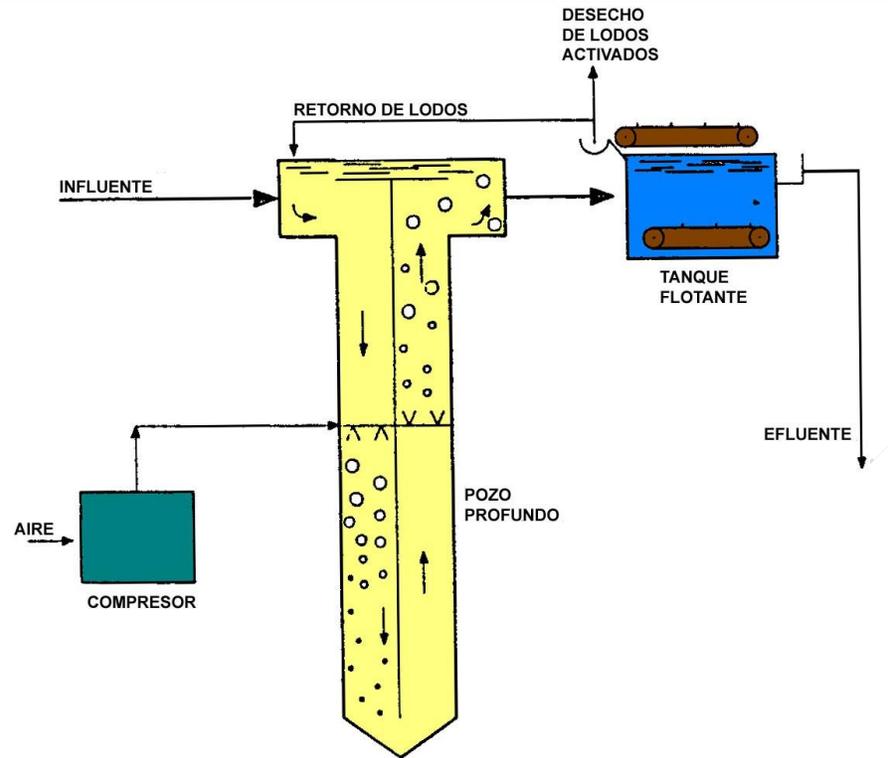


Fig. 5.29 Aeración en tubo "U".

Los factores que afectan el funcionamiento de los difusores son: tamaño de la burbuja y características del medio, uniformidad de la distribución del aire, tamaño y forma del difusor, gasto por difusor, profundidad de colocación del difusor, geometría del tanque, arreglo de difusores, etc. Las figuras 5.30 y 5.31 muestran arreglos de difusores.

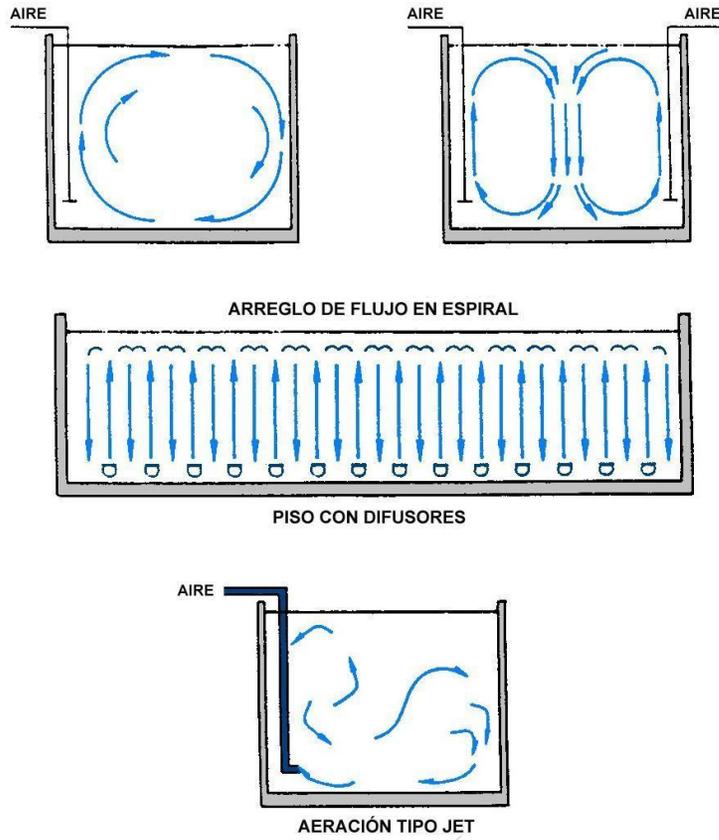


Fig. 5.30 Diferentes arreglos de difusores "modelo de flujo".



Fig. 5.31 Arreglo típico de difusores.

### 15.3.1.3 5.3.1.3 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.

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 (gas). Las figuras 5.32 a 5.34 muestran diferentes sistemas y sopladores

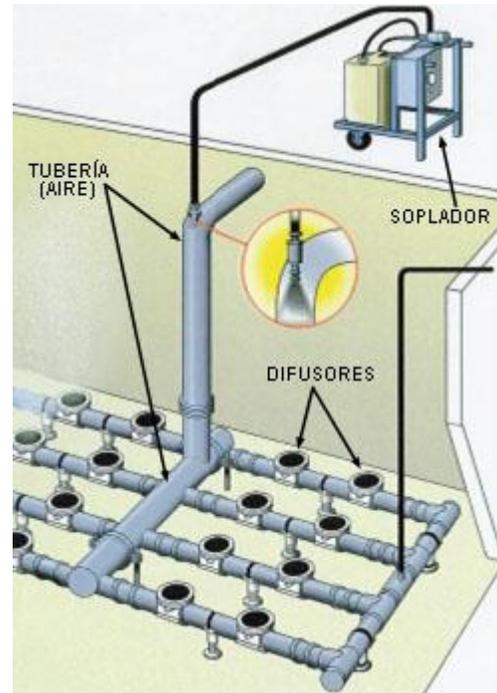


Fig. 5.32 Sistema de sopladores y difusores.

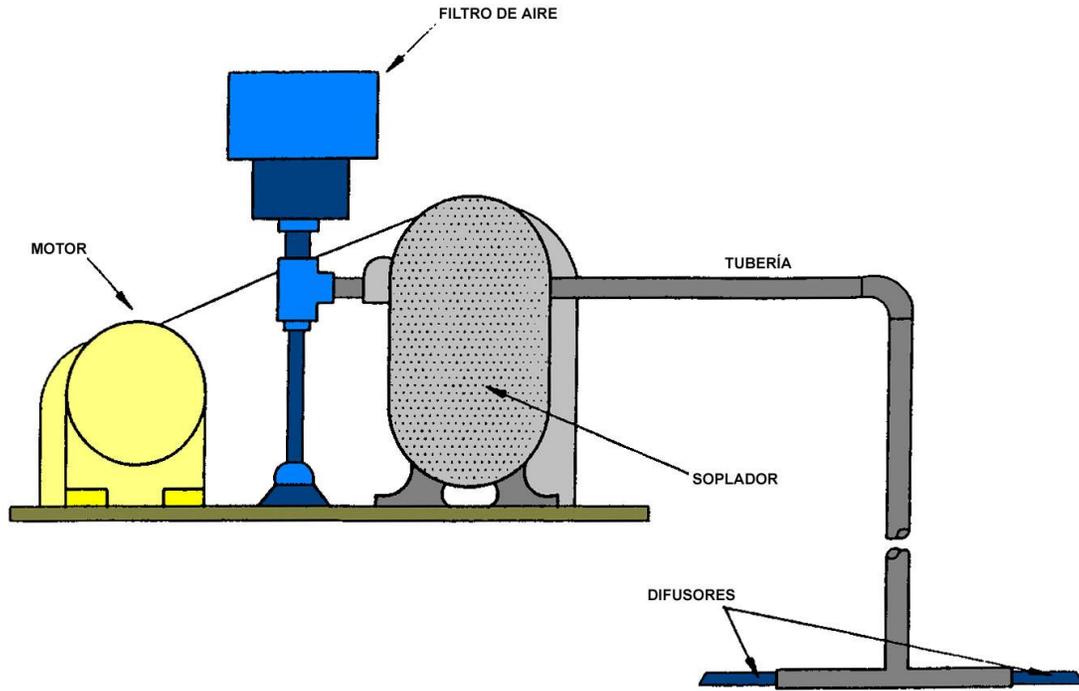


Fig. 5.33 Típico sistema de aeración por difusión.

El operador debe aplicar algún método para regular la capacidad del soplador. Estos métodos son:

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.

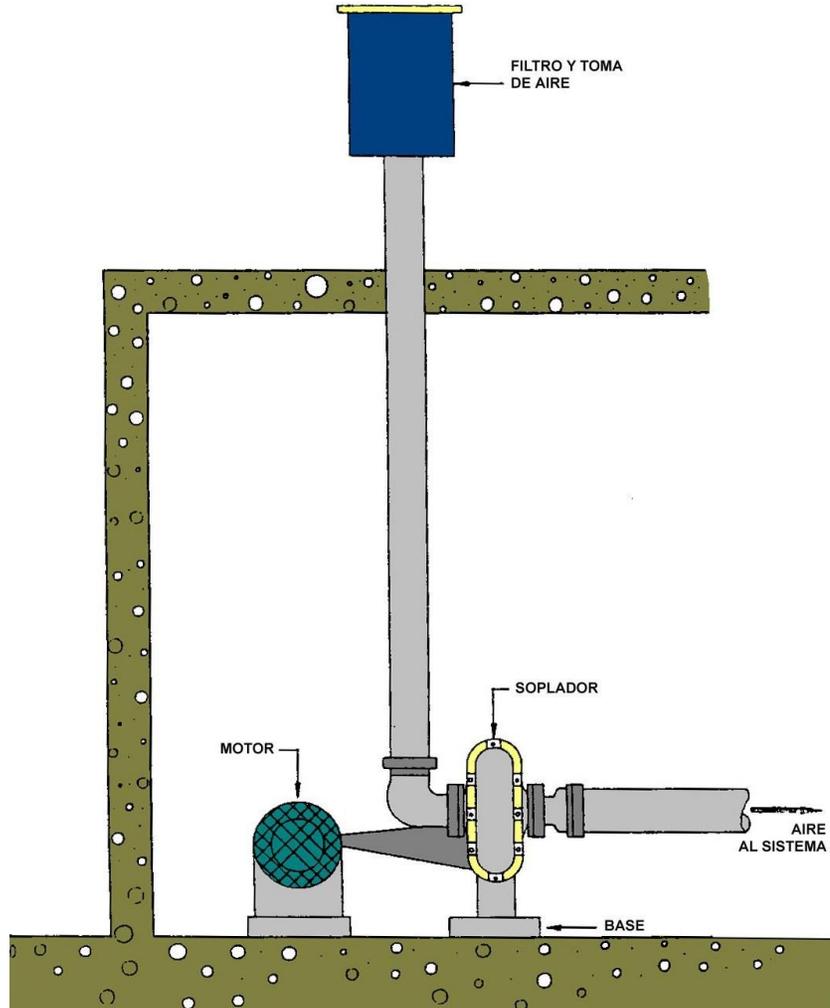


Fig. 5.34 Sistema de sopladores y difusores con filtro de aire exterior

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.

El control de sopladores en serie requiere un análisis de funcionamiento de acuerdo con las curvas características del sistema.

## **15.4 5.4 Fundamentos y control de la operación.**

El estudio realizado por la CNA 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 no cumplen con los parámetros fijados por las autoridades para sus efluentes. De aquí se ve la necesidad contar con programas de mantenimiento y operadores bien capacitados para mejorar la eficiencia de las plantas.

### **Una planta de aguas residuales es tan eficiente como lo son sus operadores.**

La eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales es tan buena como hábil es su personal de operación, pero para que esto sea totalmente válido se requieren apoyos de otras áreas, principalmente recursos económicos.

#### **15.4.1 5.4.1 Monitoreo del proceso.**

Para conocer realmente el proceso, su problemática y soluciones, es necesario que la planta sea monitoreada adecuadamente. El monitoreo del proceso representa la diferencia entre una planta por donde solo corre el agua, y otra en donde se trata el agua.

Cualquiera puede abrir o cerrar una válvula, arrancar o parar una bomba, pero solo 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.

Es necesario monitorear adecuadamente cualquier proceso biológico de tratamiento; el de lodos activados requiere también del monitoreo continuo para conocer las posibles causas de un mal funcionamiento de la

planta, para determinar los parámetros de operación y conocer las eficiencias del proceso o de cada unidad que lo compone.

Se presentan a continuación dos métodos de monitoreo: el visual y el analítico; ambos son usados para operar con mayor eficacia una planta de tratamiento de lodos activados.

#### 15.4.1.1 5.4.1.1 Indicadores visuales.

Un operador puede usar indicadores y visuales para conocer las condiciones de funcionamiento de su planta de tratamiento y proceder a su adecuada operación. Los indicadores visuales más comunes en sistemas de lodos activados son (tabla 5.6):

Tabla 5.6 Indicadores visuales.

INDICADORES VISUALES	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Color</li> <li>• Olor</li> <li>• Espumas</li> <li>• Algas</li> <li>• Rocío en aeradores</li> <li>• Claridad del efluente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Burbujeos</li> <li>• Material flotante</li> <li>• Acumulación de sólidos</li> <li>• Trayectoria de flujos</li> <li>• Turbulencias</li> <li>• Tacto</li> </ul>

##### 5.4.1.1.1 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.

Un color poco usual que se observe en el tanque de aeración puede indicar alguna sustancia extraña descargada en el sistema de alcantarillado (por ejemplo, colorantes de la industria textil o sangre de un rastro).

#### *5.4.1.1.2 Olor.*

**El licor mezclado tiene un olor característico como a humedad.**

El olor puede indicar si la planta está trabajando bien; una planta bien operada no debe generar olores objetables. Una muestra de lodos activados saludables del tanque de aeración tiene un ligero olor; 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).

#### *5.4.1.1.3 Espuma.*

**La espuma indica que los niveles de sólidos no son adecuados, o bien que el lodo no tiene la edad requerida.**

La espuma también es indicio de las condiciones de operación de la planta. La formación de espuma blanca en el efluente de la planta indica alta concentración de sólidos, y la formación de grandes cantidades de espuma en el tanque de aeración, signo de que el lodo activado es demasiado joven, y que se debe disminuir la purga de lodos; por el contrario, la formación de espuma espesa y oscura indica un lodo viejo, por lo que la purga debe aumentarse. La presencia de espuma puede deberse en algunas ocasiones a sustancias químicas descargadas al alcantarillado.

#### *5.4.1.1.4 Algas.*

**El crecimiento de algas puede indicar altos niveles de nutrientes.**

El excesivo crecimiento de algas en las paredes de los tanques o en las canaletas recolectoras 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. Si se agrega ácido fosfórico como fuente de nutrientes, esta fuente debe reducirse o cancelarse.

#### *5.4.1.1.5 Rocío 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; bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el tanque pueden deberse a esta misma causa.

#### *5.4.1.1.6 Turbiedad del efluente.*

**Un efluente turbio es obviamente un indicador de problemas operacionales.**

Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario es una indicación obvia del mal funcionamiento de la planta. Sin embargo, este problema, a menudo es observado solamente hasta que se tienen resultados analíticos del efluente.

Si el acarreo 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 acarreo ocurre a lo largo de toda la canaleta (y vertedores), es indicativo de que el lodo tiene propiedades de sedimentación muy pobres; este problema se discute a fondo en otra sección del curso.

#### *5.4.1.1.7 Burbujeo.*

**El burbujeo del sedimentador indica que el manto de lodos es demasiado profundo.**

Las burbujas en el sedimentador secundario denotan que el lodo está siendo retenido durante mucho tiempo y que se debe incrementar la recirculación. 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. Este fenómeno causa problemas operacionales, pues al desprenderse las burbujas se arrastran sólidos a la superficie.

#### *5.4.1.1.8 Material flotante.*

**Excesivas cantidades de espuma indican niveles altos de grasas y aceites y/o sobreaeración.**

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 DBO<sub>5</sub>. 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. El oxígeno disuelto en el tanque de aeración debe revisarse continuamente para mantenerlo entre 1 y 2 mg/L.

#### *5.4.1.1.9 Acumulación de sólidos.*

**La acumulación de sólidos indica un mezclado ineficiente.**

La acumulación de sólidos, sobre todo en las esquinas en zonas intermedias entre aeradores o zonas profundas, indican 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 depositados pueden ser causados también por la operación ineficiente de las cámaras desarenadoras, o de los sedimentadores primarios, lo que permite que la arena llegue hasta el aerador.

La colocación adecuada de mamparas, en ocasiones resuelven el problema de mezcla pobre. La acumulación de sólidos es indeseable porque reduce el volumen efectivo del aerador; 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.

#### *5.4.1.1.10 Trayectoria de flujos.*

**La observación de la trayectoria del flujo puede ser utilizada para detectar cortocircuitos.**

Los cortocircuitos en tanques es otro problema que algunas veces se detecta visualmente. Un cortocircuito es 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, los sólidos suspendidos o el material flotante. La colocación de mamparas, a menudo elimina este problema.

#### 5.4.1.1.11 Turbulencia.

##### **Zonas de baja turbulencia pueden deberse a difusores obstruidos.**

La turbulencia en el tanque de aeración puede usarse para identificar problemas; un tanque completamente mezclado debe presentar una turbulencia homogénea.

Turbulencias heterogéneas (no uniformes) pueden ser causadas por difusores obstruidos, colocación desigual de aeradores superficiales, o insuficiente aeración de algún equipo. Las zonas de baja turbulencia indican el lugar preciso de difusores obstruidos.

#### 5.4.1.1.12 Tacto.

##### **El tacto puede usarse para verificar equipo en operación.**

El tacto es una importante herramienta para monitoreo de equipos en funcionamiento; si los motores de las bombas, sopladores o algún otro motor de los equipos el 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 5.7) que puede ser utilizado para realizar una evaluación rápida en planta de los indicadores visuales antes descritos.

Tabla 5.7 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				
ROCÍO	Verificar nivel de aeradores			
Observaciones				
TURBIEDAD	Sedimentador	Verificar salida de los vertedores		
Observaciones				
BURBUJAS	Sed. Primario	Sed. Secundario		Otro

Observaciones				
MAT. FLOTANTE	Sed. Primario	Tan. Aeración	Sed. Secundario	Otro
Observaciones				
ACUMULACIÓN DE SÓLIDOS	Verificar las esquinas de los tanques de aereación			
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				

Observaciones	

### 15.4.1.2 5.4.1.2 Indicadores analíticos

Los indicadores analíticos son la principal herramienta del personal de operación para monitorear el funcionamiento de su planta de tratamiento. Los resultados analíticos se usan no solo 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 5.35 y la tabla 5.8 indican puntos recomendados para el muestreo, parámetros y valores esperados.

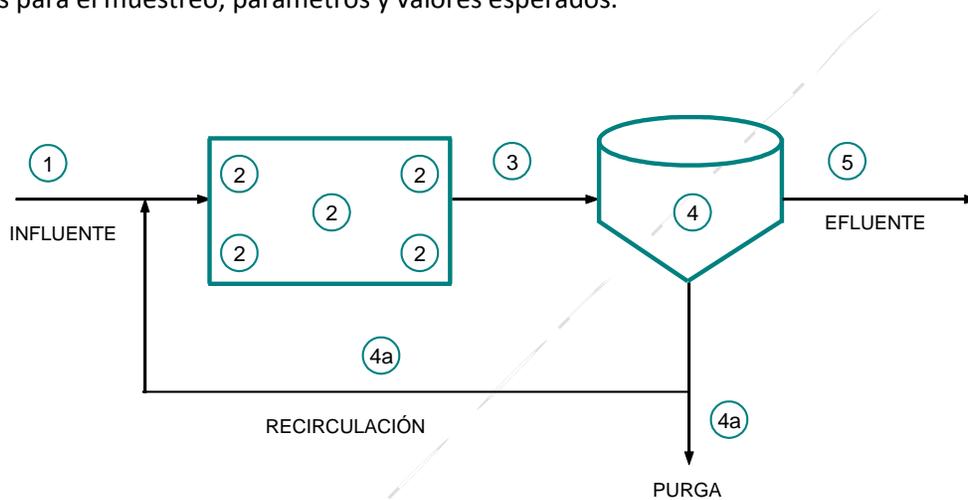


Fig. 5.35 Puntos recomendados para muestreo

Tabla 5.8 Parámetros, puntos de muestreo recomendados y valores esperados, para la evaluación del proceso

PARÁMETRO	PUNTO DE MUESTREO	VALOR ESPERADO
DBO5 influente	1	1 – 300 mg/L
DBO5 efluente	5	5 – 30 mg/L
DQO influente	1	3 – 900 mg/L
DQO efluente	5	15 – 90 mg/L

PARÁMETRO	PUNTO DE MUESTREO	VALOR ESPERADO
Oxígeno disuelto	2	1.5 – 4 mg/L
SSLM	2, 3	Variable
SLBM	2, 3	70 – 80% SSLM
SS influente	1	Variable
SS efluente	5	5 – 30 mg/L
SS recirculación y purga	4ª	Variable
DBO5/DQO	1	± 0.5
pH	2, 5	6.5 – 8.5
Sedimentabilidad	3	Graficar
Manto de lodos	4	0.3 – 1.0 m

Los indicadores analíticos de mayor importancia en la operación de plantas de lodos activados son:

- Oxígeno disuelto (OD)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Prueba de utilización de oxígeno
- Sólidos suspendidos totales y volátiles (SST y SSV)
- Prueba de sedimentabilidad de 30 minutos (IVL)
- Nutriente (nitrógeno y fósforo)
- pH
- Grasas y aceites
- Temperatura
- Análisis microscópicos
- Profundidad del manto de lodos
- Acidez y alcalinidad
- Gastos
- Tiempos de retención
- Dosificación de químicos
- Niveles y alturas en tanques

A continuación se describe la importancia de cada uno de los indicadores analíticos.

#### 5.4.1.2.1 Oxígeno disuelto (OD).

**Una caída brusca del OD indica que una carga orgánica alta ingresó al sistema.**

Los niveles de oxígeno disuelto en el tanque de aereación son muy importantes para la operación; si el oxígeno disuelto es muy bajo, se inhibirá la actividad microbiana y la remoción de  $DBO_5$  disminuirá. Concentraciones de altas OD pueden afectar negativamente la sedimentación secundaria y se estará desperdiciando la energía. Un incremento del 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.

Se recomienda tener oxígeno disuelto residual de 1 a 2 mg/L en el aerador. 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.

#### 5.4.1.2.2 $DBO_5$ .

**Un efluente con altas concentraciones de  $DBO_5$  indica problemas operativos.**

Otro factor importante como indicador del proceso es la concentración de  $DBO_5$ , sobre todo en el influente al tanque de aeración y el efluente del sedimentador secundario.

La  $DBO_5$  proporciona al operador la información relativa al funcionamiento de la planta, como es la eficiencia de remoción de  $DBO_5$  también se obtiene la información de carga orgánica (alimento), altas remociones de  $DBO_5$  indican que la planta funciona bien; bajas remociones denotan que existen problemas en la planta.

Se requieren registros diarios de  $DBO_5$  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.

5.4.1.2.3 DQO.

**La demanda química de oxígeno puede usarse para estimar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).**

La DQO es una herramienta que cada vez tiene mayor uso, pues el análisis de laboratorio para su determinación es mucho más rápido que el de la DBO<sub>5</sub>. En aproximadamente 4 a 5 horas se puede realizar, mientras que la DBO<sub>5</sub> requiere cinco días. La espera de resultados por más de cinco días por la DBO<sub>5</sub> ha promovido el uso de la relación DQO/DBO; esta relación puede obtenerse monitoreando de manera sistemática los dos parámetros durante un largo periodo para llegar a establecer de manera bastante aproximada dicha relación.

Una vez que se tiene esta relación, determinando el DQO se infiere el valor de la otra, ahorrándose el tiempo de espera de resultados. Principalmente por esta razón, la DQO es un importante indicador analítico en plantas de lodos activados, además de ser un índice de descargas industriales. A continuación se presenta un ejemplo (tabla 5.9) con resultados correspondientes al año 2003 de una planta de lodos activados.

Tabla 5.9 Ejemplos DQO y DBO.

Fecha	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO/DBO
11/02/2003	143	102	1.40
25/02/2003	118	91	1.30
11/03/2003	126	97	1.30
25/03/2003	380	260	1.46
08/04/2003	250	134	1.87
22/04/2003	181	125	1.45
07/05/2003	67	51	1.31
20/05/2003	150	116	1.29
11/06/2003	106	81	1.31
09/07/2003	231	180	1.28
19/08/2003	168	132	1.27
02/09/2003	67	48	1.40
17/09/2003	113	84	1.35
29/09/2003	125	89	1.40
30/09/2003	187	142	1.32
14/10/2003	109	78	1.39
23/10/2003	68	52	1.31
29/10/2003	228	176	1.30
14/12/2003	200	152	1.32
28/12/2003	215	165	1.30

De los datos anteriores se puede establecer que en época de lluvias la relación DQO/DBO desminuye a valores de 1.27 y que en época de estiaje aumenta hasta 1.87. Sin embargo, en la mayoría de los casos la relación está comprendida entre 1.30 a 1.35, siendo el promedio de 1.34 si se discrimina el valor más alto obtenido. Este valor puede ser utilizado para estimar la DBO<sub>5</sub> del sistema.

#### 5.4.1.2.4 Prueba de consumo de OD.

**Esta prueba indica el nivel de actividad de los microorganismos.**

Una prueba simple, pero valiosa para monitorear el estado de la planta es la prueba de utilización de oxígeno. Su determinación es fácil y rápida, y permite al operador conocer la actividad microbiana en el aerador, midiendo la velocidad de utilización del oxígeno por los microorganismos, con un oxímetro y comparando los resultados con lecturas normales en su planta de tratamiento. El operador puede determinar si los microorganismos tienen mayor actividad de lo normal o si están inhibidos. La gráfica de la figura 5.36 muestra el comportamiento de este indicador.

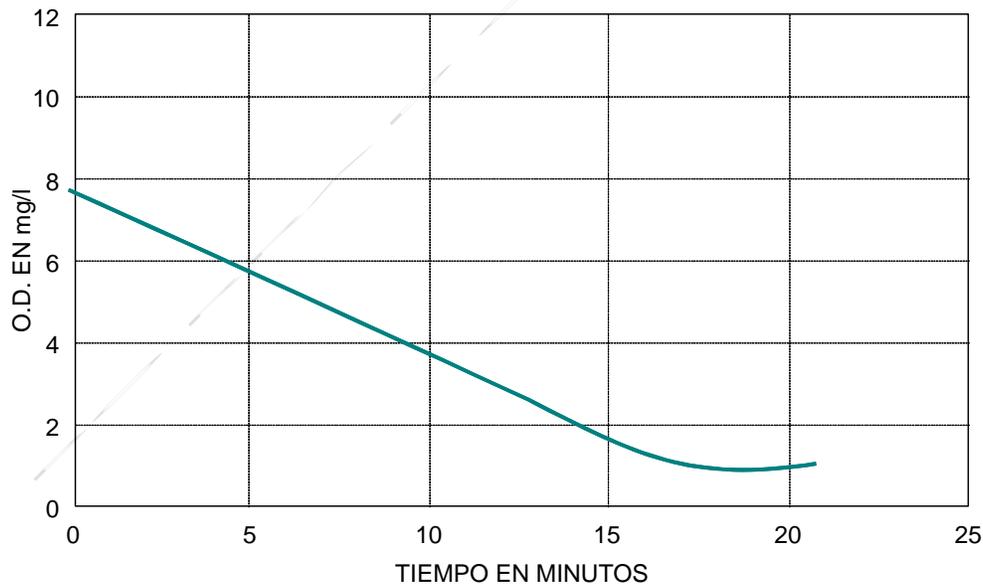


Fig. 5.36 Gráfica de utilización de oxígeno.

#### 5.4.1.2.5 SS y SSV.

Los sólidos suspendidos y sólidos suspendidos volátiles son indicadores del proceso, por lo que se han utilizado tradicionalmente como parámetros de control.

Los datos que se requieren de sólidos suspendidos en la planta se obtienen de las diferentes operaciones unitarias para hacer ajustes en cada una de ellas, y evaluar el funcionamiento de la planta continuamente.

#### **Los SSVLM indican la cantidad aproximada de microorganismos en el tanque de aeración.**

Los valores encontrados de los sólidos suspendidos totales y volátiles se usan 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 SSVLM, gasto de recirculación de lodos y gasto del exceso de lodos.

Para controlar el proceso de lodos activados se deben hacer ajustes periódicos a la recirculación y a la purga de lodos; esto se basa en el contenido de SS y SSV en el sistema de tratamiento.

#### 5.4.1.2.6 Prueba de sedimentabilidad de 30 minutos.

Para que el proceso de lodos activados funcione adecuadamente, los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM) del efluente del reactor deben separarse rápidamente en el clarificador secundario. Las características de sedimentación de los lodos se evalúan en pruebas de laboratorio.

#### Índice volumétrico de lodos (IVL).

Este se define como el volumen en mililitros ocupado por 1 gramo de sólidos en suspensión del licor mezclado (SSLM), expresado en peso seco, después de sedimentar durante 30 min en una probeta graduada de 1000 ml. La figura 5.38 es una curva ideal de sedimentabilidad.

Como ejemplo, la concentración de sólidos suspendidos en una muestra es de 2000 mg/L (2 g/L). Después de 30 min, la altura de la interfase del lodo corresponde a 250 ml. Ya que hay 2 g de lodo en la probeta, el volumen ocupado por un gramo después de 30 minutos es:

$$IVL = 250 \text{ ml} / 2 \text{ g} = 125 \text{ ml} / \text{g}$$

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 35.

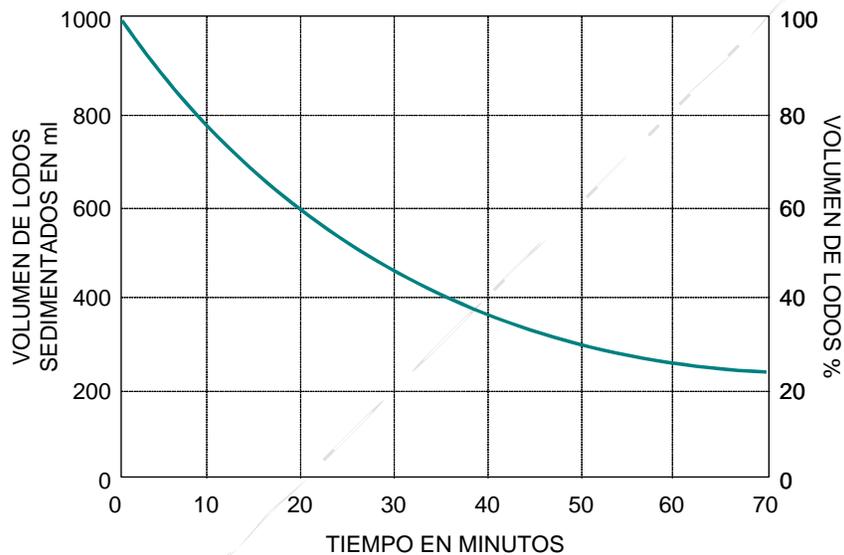


Fig. 5.38 Curva de sedimentación.

#### 5.4.1.2.7 Nutrientes.

**Los microorganismos requieren N y P, así como diversos nutrientes para su desarrollo.**

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. La deficiencia de nitrógeno es particularmente indeseable, porque causa la formación de flóculos dispersos o filamentosos, que difícilmente sedimentarán.

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 las células de los microorganismos se sumarán al N y P disponible como alimento. Como regla general se sabe que a 100 kg de DBO<sub>5</sub> le corresponden 5 kg de N, y 1 kg de P para que exista una buena relación de nutrientes.

#### *5.4.1.2.8 pH.*

Se debe mantener al pH entre 6.5 y 8.5 para asegurar la actividad microbiana en el tanque de aeración. El pH del influente a la planta y del tanque de aeración se registrará diariamente para conocer si se reciben ocasionalmente descargas que se salgan de los valores mencionados, y realizar las acciones de control necesarias.

#### *5.4.1.2.9 Grasas y aceites.*

**Las grasas y aceites afectan negativamente la transferencia de alimento en los microorganismos, así como la sedimentación de sólidos.**

Este parámetro debe monitorearse 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. Cantidades excesivas de grasas y aceites empujarán los flóculos a la superficie en los clarificadores.

#### *5.4.1.2.10 Temperatura.*

La temperatura afecta la actividad microbiana en los sistemas de tratamiento biológico; este factor es muy sensible. 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.

#### *5.4.1.2.11 Observaciones microscópicas.*

Las observaciones microscópicas son otra herramienta importante para la operación de la planta y para el monitoreo del sistema.

**Las observaciones microscópicas se realizan para asegurarse de la existencia de diversidad biológica y del nivel de actividad microbiana.**

En general, los flóculos biológicos de pequeños a medianos y sin crecimiento disperso indican un funcionamiento adecuado del sistema de lodos activados. La presencia de bacterias filamentosas y hongos indican condiciones ambientales desfavorables para los microorganismos: tales como, altas cargas orgánicas, pH bajo, cantidades deficientes de nutrientes, falta de OD, etc. 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 gran variedad de protozoarios. La presencia de demasiados microorganismos flagelados indican un lodo joven. Si el flóculo es pequeño y con gran número de rotíferos, el lodo es viejo.

**Es deseable tener una gran variedad de microorganismos.**

La presencia variada de microorganismos en número y tipos de protozoarios indican un proceso balanceado. En muchos casos, el balance de microorganismos en el sistema indica problemas en el proceso mucho antes de que sean severos.

#### *5.4.1.2.12 Profundidad del manto de lodos.*

**Es recomendable tener un manto de lodos de 1 m.**

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.

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 líquido que debe ser extraído para recirculación o purga.

#### *5.4.1.2.13 Acidez y alcalinidad.*

##### **Acidez/alcalinidad, capacidad amortiguadora de las aguas residuales.**

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. Esto puede ser importante, ya que uno de los subproductos de la degradación biológica de la materia orgánica es el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que puede formar ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) 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.

La información de estos parámetros es importante si la planta recibe descargas industriales que tengan alto o bajo pH y que tal vez requiera neutralización. Con base en estos parámetros se calculan los productos químicos para la neutralización. La figura 5.39 muestra la relación del pH con procesos biológicos.

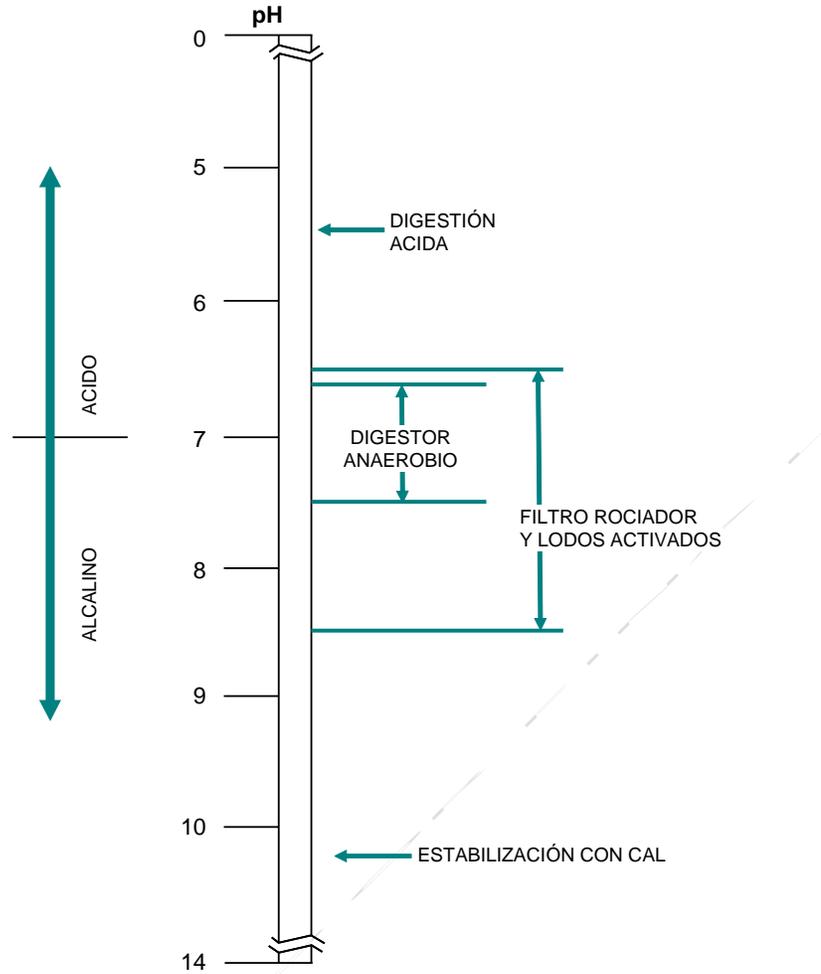


Fig. 5.39 Escala de pH y procesos biológicos.

#### 5.4.1.2.14 Gastos

**Se requieren datos precisos del gasto.**

Es obvio que se requiera monitorear el gasto influente y efluente de la planta. Los gastos se necesitan para calcular cargas orgánicas, balance de sólidos, cálculo de parámetros de control como, A/M y TMRC, tiempos de retención, ajuste de recirculación purga y dosificación de nutrientes. Se requieren datos suficientes para el adecuado control de la planta de tratamiento, de ser posible un equipo medidor de gasto continuo. La figura 5.40 muestra variaciones típicas diarias de gasto y carga.

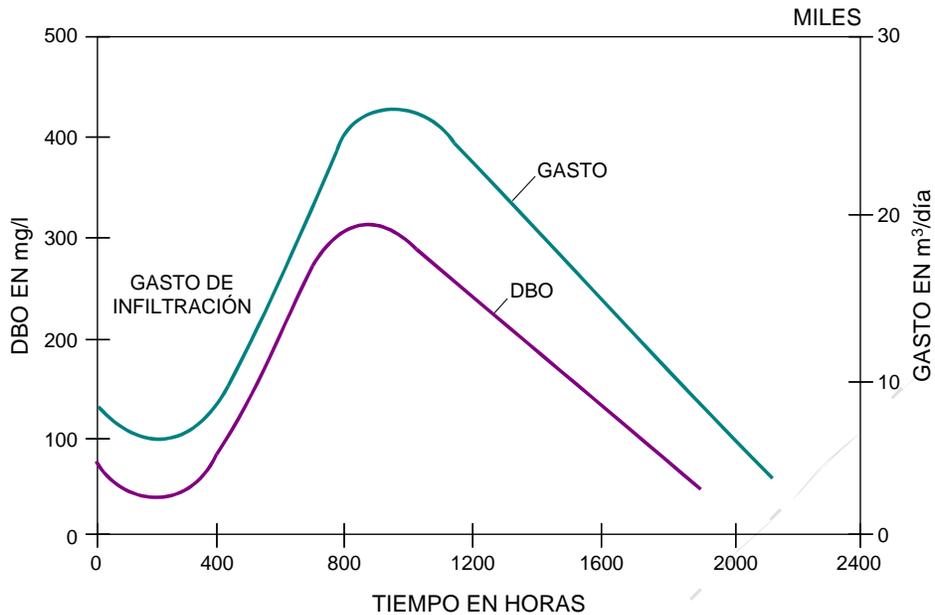


Fig. 5.40 Variaciones típicas de gasto y carga en plantas pequeñas y medianas.

#### 5.4.1.2.15 Tiempo de retención

**Los microorganismos necesitan tiempo para la digestión.**

Los tiempos de retención adecuados al tipo de proceso son muy importantes en sistemas biológicos de tratamiento y pueden verificarse periódicamente. Las bacterias necesitan ciertos tiempos de retención en el tanque de aeración para asimilar y digerir la materia orgánica del agua residual.

Tiempos de retención demasiado grandes pueden llevar a problemas de sedimentación; tiempos muy cortos conducirán a bajas eficiencias de remoción de  $DBO_5$ ; el sedimentador secundario también requiere cierto tiempo de retención, pero si es demasiado corto, el flóculo biológico no tendrá tiempo de sedimentar, y la concentración de SS en el efluente será muy grande. Si los lodos permanecen en el tanque mucho tiempo, se vuelven sépticos; bajo condiciones anaerobias se pueden tener problemas de desnitrificación. El cálculo del tiempo de retención en las unidades de proceso es particularmente importante cuando se alcanza o sobrepasa el gasto máximo de diseño.

#### *5.4.1.2.16 Dosificación de productos químicos.*

En caso de usar productos químicos en el proceso (caso poco común), se requiere mantener almacenada una cantidad suficiente para no parar la planta.

#### *5.4.1.2.17 Niveles y alturas de tanques.*

Se deben verificar periódicamente las fluctuaciones del nivel o profundidad de los tanques para algunas consideraciones en la operación.

### **15.4.2 5.4.2 Control del proceso**

La función principal del operador de plantas de tratamiento de aguas residuales es el monitoreo y control de su proceso de tratamiento, de tal manera que la producción de agua tratada tenga consistentemente la calidad que se espera de ella (alta calidad de acuerdo con el tipo de instalaciones), para cumplir con 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. Para tal efecto, en la figura 5.41 se ilustra de manera esquemática el proceso de lodos activados, en el cual a su vez se identifican las principales corrientes y una nomenclatura que será utilizada para el cálculo de los indicadores analíticos.

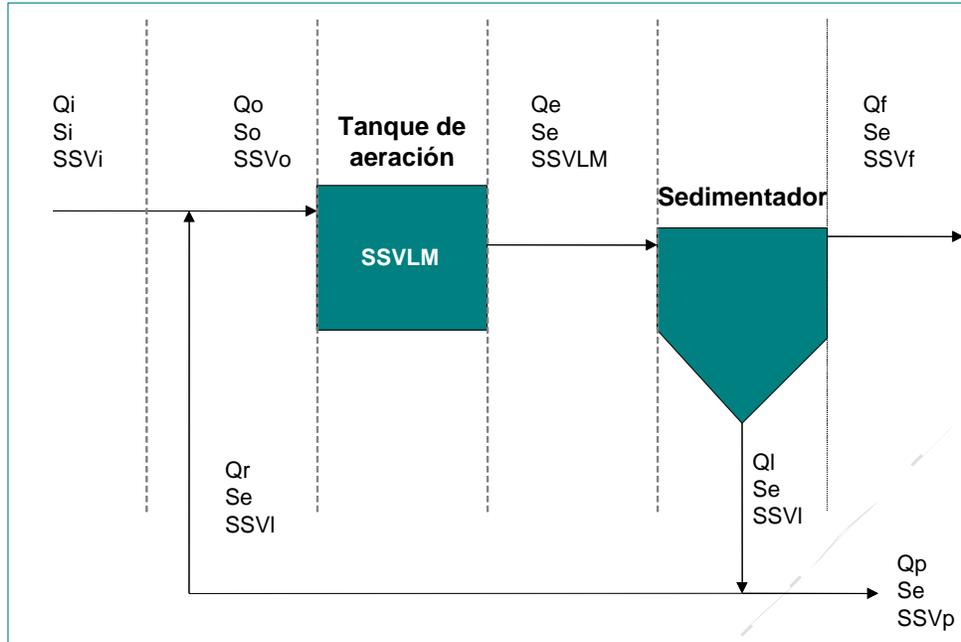


Fig. 5.41 Esquema del proceso de lodos activados.

#### 15.4.2.1 5.4.2.1 Índice volumétrico de lodos (IVL)

El resultado de la prueba de sedimentabilidad sirve para calcular el índice volumétrico de lodos; su uso es directo en la siguiente expresión.

$$IVL = \frac{\text{Volumen de lodos sedimentados}}{\text{Concentración de SSLM}} \times 1000$$

Donde el volumen de lodos sedimentados se determina en la probeta de 1 L después de 30 min, las unidades son ml/L.

La 5.42 muestra las relaciones de operaciones entre el índice volumétrico de lodos y otros factores.

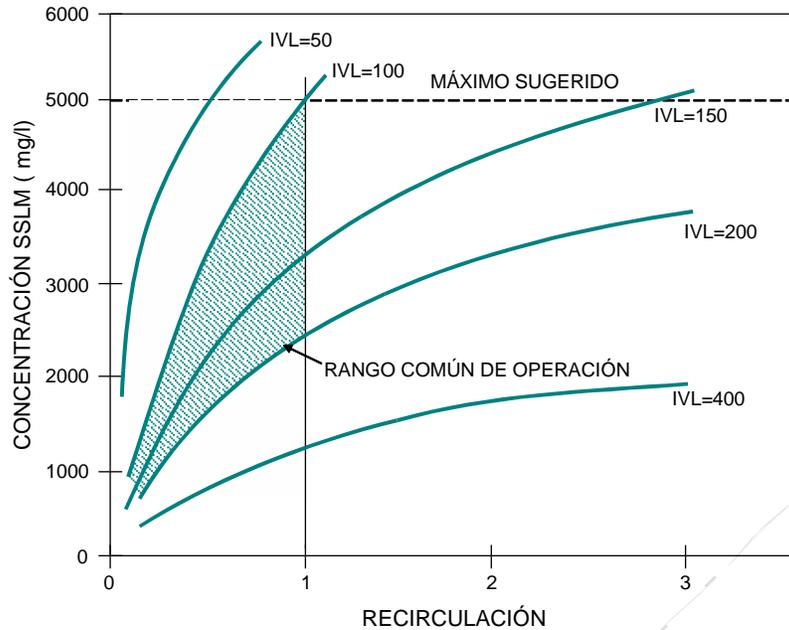


Fig. 5.43 Rangos de operación del IVL, relación de recirculación y SSLM.

#### 15.4.2.2 5.4.2.2 Cargas: orgánica y de sólidos suspendidos

**El operador debe conocer cuánta materia orgánica degradan los microorganismos.**

Para controlar de manera efectiva el proceso de su planta de tratamiento, el operador necesita conocer las cargas de contaminantes. Los dos parámetros de mayor importancia que se deben cuantificar para aguas residuales municipales son la DBO<sub>5</sub> y los SS; para el tratamiento de aguas residuales de otro tipo, tal vez se requiera otro parámetro.

La carga de DBO<sub>5</sub> (S<sub>o</sub>) 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.

Ecuación:

$$\text{Carga} = \text{gasto} \times \text{concentración}$$

$$\text{Carga orgánica} = Q \times S_o$$

#### 15.4.2.3 5.4.2.3 Relación alimento/microorganismos (A/M.)

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  $\text{DBO}_5$  (alimento) que entra al tanque y la cantidad de microorganismos (SSVLM) presentes en el licor mezclado del 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:

$$A/M = \frac{\text{Alimento que entra al sistema por día}}{\text{Masa de microorganismos en el tanque de aeración}}$$

$$A/M = \frac{\text{Kg de DBO}_5 \text{ influentes al tanque de aeración por día}}{\text{Kg de SSVLM (en el tanque de aeración)}}$$

Cuando se usan la relación A/M como parámetro del control en una planta de tratamiento, se tiene el inconveniente de que la A (alimento), no se puede controlar, sobre todo en aguas residuales municipales; en algunas industrias se puede tener cierto grado de control con un tanque de homogenización, o controlando alguna descarga del proceso productivo de la industria.

El parámetro M (microorganismos) es la parte controlable de la relación A/M; éste representa sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aeración que se controla 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 (para que disminuya la recirculación) y entren menos microorganismos al sistema, algunos valores típicos de A/M de acuerdo con el tipo de proceso se puede observar en la tabla 5.10. En ella se incluyen otros parámetros para lodos activados. Las figuras 5.44 y 5.45 muestran las relaciones con otros parámetros de control.

Los parámetros para el cálculo 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 de A/M.

Tabla 5.10 Parámetros en plantas de lodos activados.

MODIFICACIÓN AL PROCESO	TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN CELULAR	A/M	SSLM mg/L	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA, EN HORAS	RECIRCULACIÓN %
Convencional	5 - 15	0.2 - 0.4	1500 - 3000	4 - 8	25 - 50
Aeración reducida	5 - 15	0.2 - 0.4	1500 - 3000	4 - 8	25 - 50
Aeración escalonada	5 - 15	0.2 - 0.4	2000 - 3500	3 - 5	25 - 75
Estabilización-contacto	5 - 15	0.2 - 0.6	4000 - 10 000	3 - 6	25 - 100
Aeración extendida	20 - 30	0.05 - 0.15	3000 - 6000	18 - 36	75 - 150
Oxígeno puro	8 - 20	0.25 - 1.0	3000 - 8000	1 - 3	25 - 50

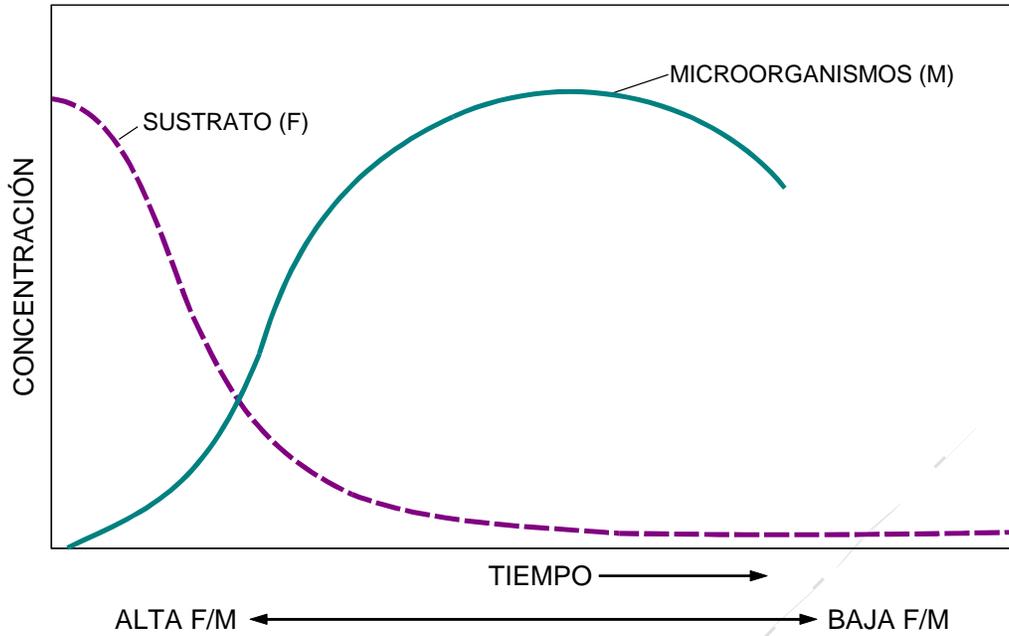


Fig. 5.44 Relación A/M, crecimiento biológico y remoción de sustrato.

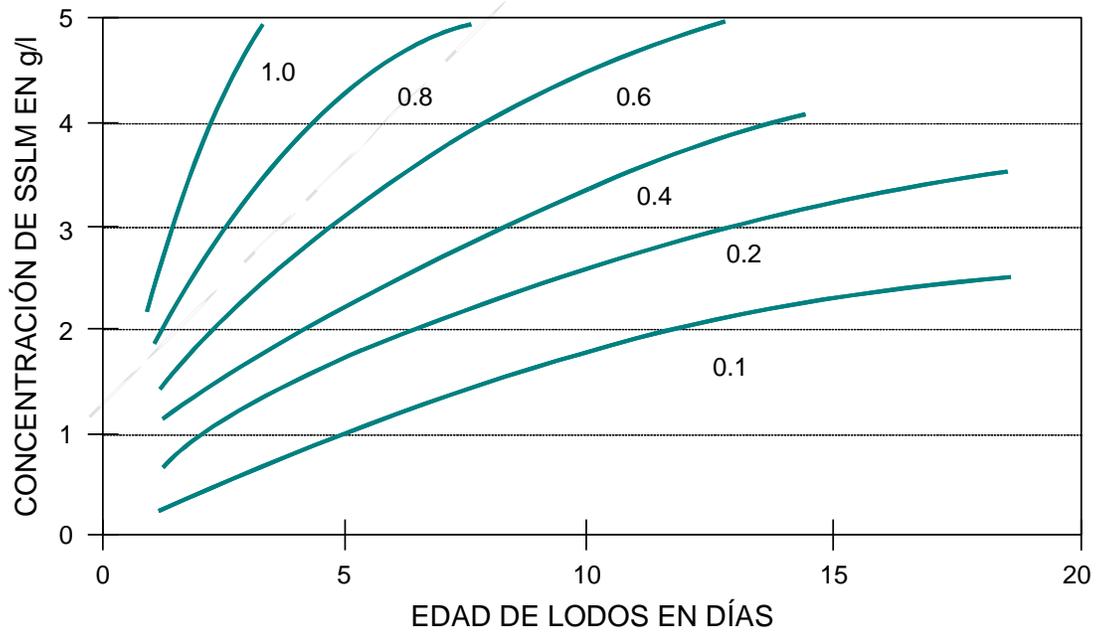


Fig. 5.45 Relación A/M, edad de lodos y SSLM.

Con objeto de conseguir correlaciones de las características de sedimentación de un lodo, se trabaja con una serie de reactores en continuo a escala semipiloto teniendo en cada uno de ellos una relación diferente de A/M. El lodo obtenido en cada reactor se somete a prueba de decantación (VSZ e IVL). Estos parámetros son una medida de la capacidad del lodo para sedimentar, se representan en función de las relaciones A/M correspondientes, se obtienen curvas similares a las de la figura 5.46.

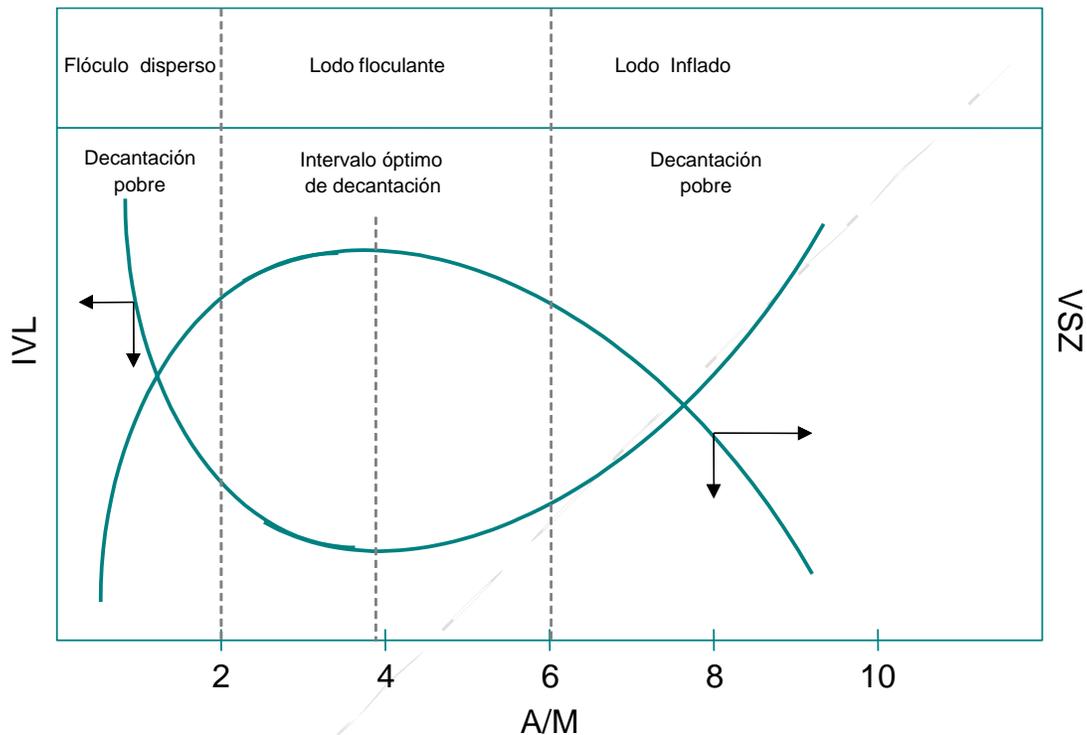


Fig. 5.46 Correlación típica entre IVL, VSZ y A/M.

Ya que para que un lodo tenga unas condiciones de sedimentación óptimas debe presentar una VSZ elevada, un IVL bajo y la mejor relación A/M, tal como se indica en la figura 6.9, corresponde al máximo de la curva VSZ y al mínimo de la curva IVL. En la mayoría de las aguas residuales este valor óptimo de la relación A/M se encuentra comprendido dentro de los siguientes límites.

$$0.6 > A/M > 0.2$$

A continuación se desarrolla una explicación de la correlación A/M y las características de sedimentación del lodo.

1. Para relaciones A/N bajas (<0.2 /d), la cantidad de alimento presente en el sistema es insuficiente para mantener el crecimiento de microorganismos, por lo que 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 decantación.
2. A relaciones de A/M elevadas (<0.6 /d) 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”.
3. A valores de la relación A/M comprendidos entre estos dos extremos, el lodo tiene buenas características de sedimentación. El lodo bajo estas condiciones se denomina floculante.

#### 15.4.2.4 5.4.2.4 Edad de lodos (tiempo medio de retención celular).

Otro parámetro de control es el tiempo medio de retención celular (TMCR) 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: en este curso 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 que los microorganismos son retenidos en el aerador. Este es un parámetro importante, ya que es el tiempo que los microorganismos disponen para degradar la materia orgánica y tiene un efecto significativo en la calidad del efluente.

Hay que dar el tiempo necesario para que los microorganismos estén en contacto con los desechos para que se realice el tratamiento, si se da poco tiempo, el sistema biológico no podrá digerir toda la materia orgánica, resultando una baja eficiencia de remoción. Si se da demasiado tiempo, los microorganismos terminarán con

todo el alimento disponible y empezarán a morir, originando una fracción alta de material biológico no activo, con lo que se perderán sólidos finos en el efluente.

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 edad de lodos se controla con la purga y recirculación de los lodos activados.**

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.

La mejor edad de lodo para una planta en particular, debe seleccionarse de acuerdo con la experiencia en la operación y observación del proceso.

Un factor necesario de considerar al seleccionar la edad de lodos, es que cuando se tiene una edad de lodos grande (mayor cantidad de SSVLM en el tanque de aeración), la planta soporta mayores shocks de cargas, pues habrá mayor número de microorganismos en el aerador. Las figuras 5.47 y 5.48 muestran el comportamiento de la edad con otros parámetros.

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 al arranque de la planta.

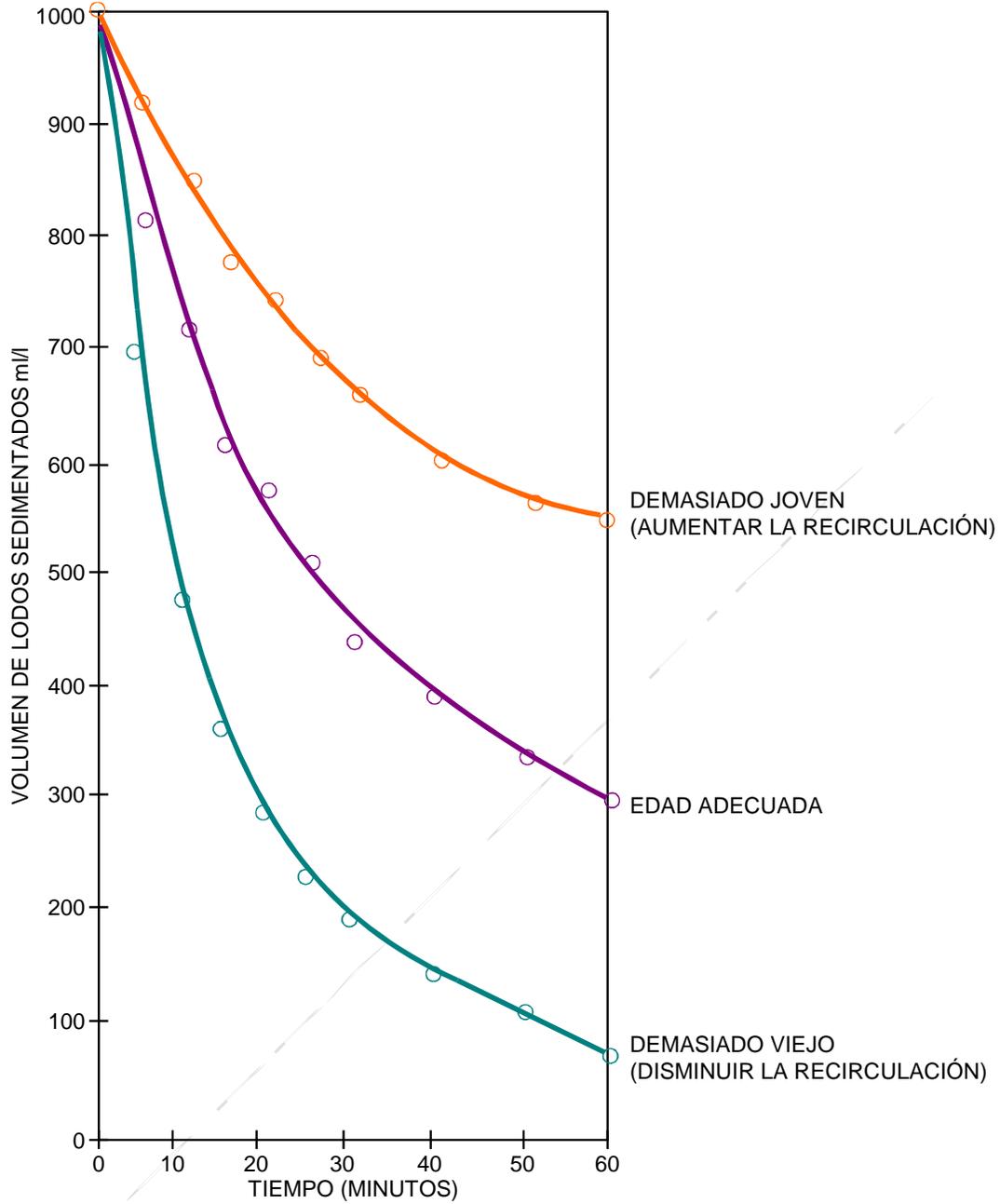


Fig. 5.47 Edad de los lodos en la curva de sedimentación.

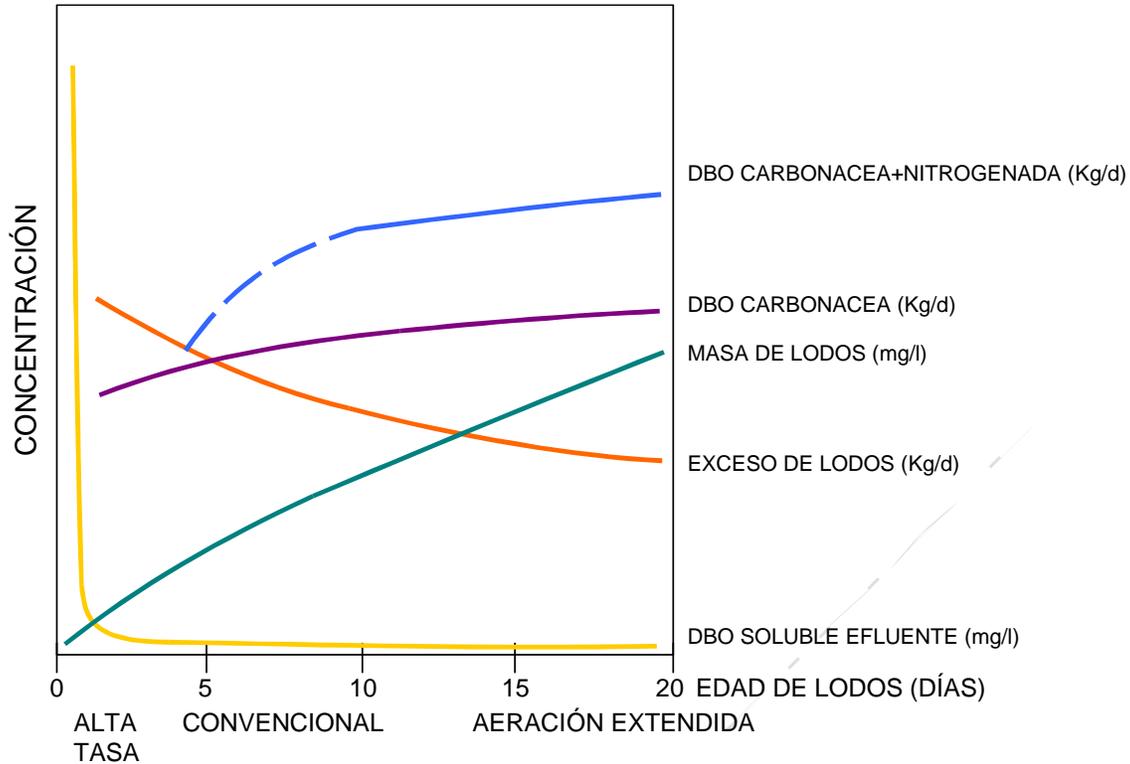


Fig. 5.48 Edad de lodos, procesos de lodos activados y otros parámetros.

#### 15.4.2.5 5.4.2.5 Control del gasto de recirculación.

Para mantener la profundidad requerida del manto de lodos en el sedimentador y el adecuado balance de sólidos, el gasto de recirculación, del sedimentador al tanque de aeración, debe ser medido y controlado, una recirculación óptima depende de diversos factores, tales como: DBO<sub>5</sub> influente, velocidad de reproducción celular, temperatura, SSLM y SS en la recirculación. Sin embargo, el operador tiene poco o ningún control sobre alguno de estos factores. Las figuras 5.49 y 5.50 muestran la relación de recirculación en combinación con otros factores.

A pesar de depender de estos factores, el gasto de recirculación óptima puede calcularse basándose en requisitos de operación, variando de acuerdo a las estaciones del año. A continuación se presenta la expresión para el cálculo de un balance de sólidos del sistema:

Determinación del gasto de recirculación:

$$Q_r = \frac{Q_i \times SSVLM}{SSV_r - SSVLM}$$

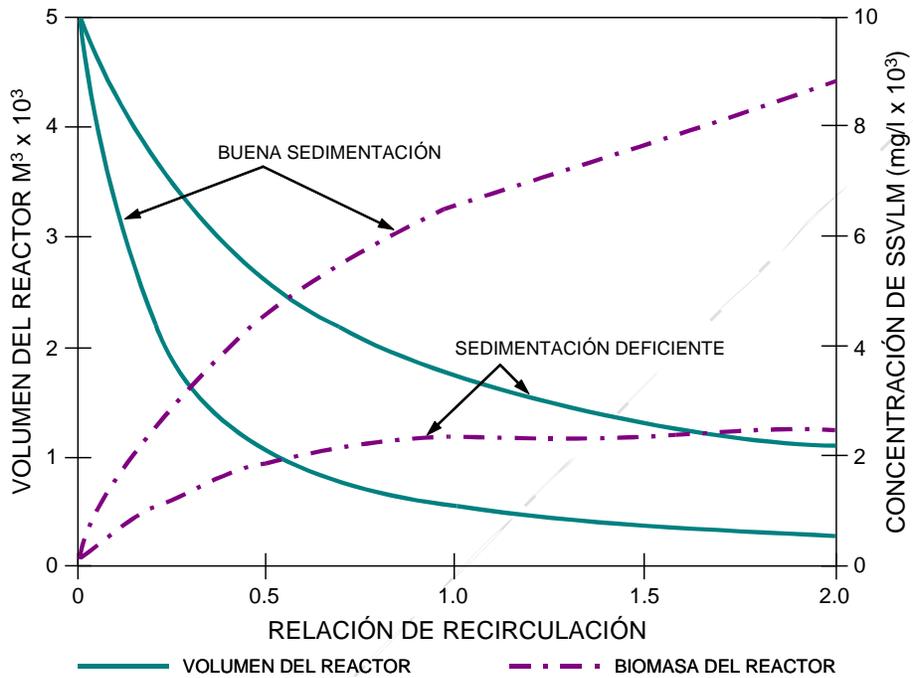


Fig. 5.49 Recirculación y comportamiento del reactor y sedimentador.

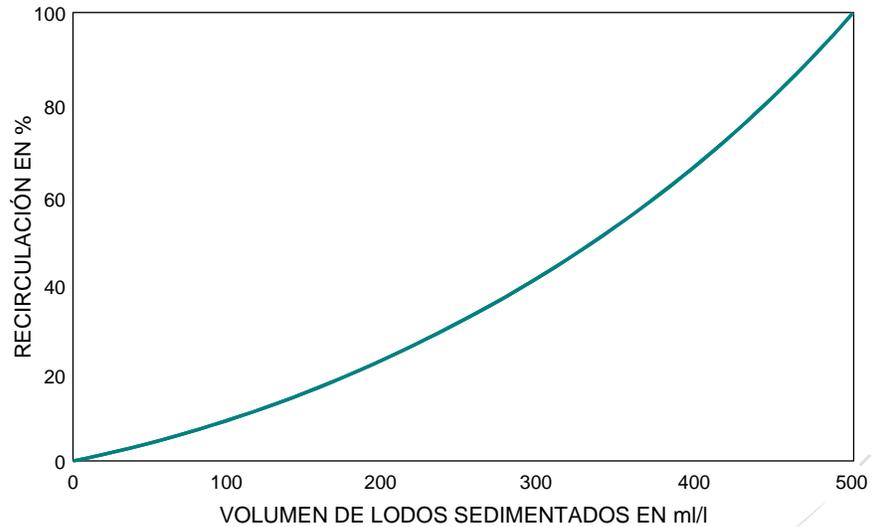


Fig. 5.50 Recirculación y volumen de lodos sedimentares.

#### 15.4.2.6 5.4.2.6 Control de la purga

**El control de la purga es 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 expresión:

$$Q_{purga} = \frac{\Delta SSV - (Q_f \times SSV_f)}{SSV_r - SSV_f}$$

#### 15.4.3 5.4.3 Taller de cálculos.

A continuación se presentan una serie de cálculos para el control del reactor biológico, estos se dividen en sistema convención y aeración extendida, y estos a su vez están calculados con referencia de R.S. Ramalho y de Metclaf & Eddy. Los reactores se consideran con mezcla completa. En la figura 5.51 se muestran las principales corrientes y los datos iniciales son los siguientes:

Parámetro	Siglas	Valor	Valor
<b>DATOS GENERALES</b>			
Gasto	Qi	50 L/s	4320 m <sup>3</sup> /d
Demanda bioquímica de oxígeno 5 de entrada	DBO <sub>5 E</sub>	280 mg/L	0.28 Kg/m <sup>3</sup>
Demanda bioquímica de oxígeno 5 de salida	DBO <sub>5 S</sub>	20 mg/L	0.02 Kg/m <sup>3</sup>
Sólidos suspendidos volátiles en la recirculación	SSVr	12000 mg/L	12 Kg/m <sup>3</sup>
Sólidos suspendidos volátiles a la salida	SSVe	10 mg/L	0.01 Kg/m <sup>3</sup>
Nitrógeno amoniacal a la entrada	SiNH	30 mg/L	0.03 Kg/m <sup>3</sup>
Nitrógeno amoniacal a la salida	SeNH	2 mg/L	0.002 Kg/m <sup>3</sup>
Fósforo total a la entrada	SiPT	4 mg/L	0.004 Kg/m <sup>3</sup>
Fósforo total a la salida	SePT	1 mg/L	0.001 Kg/m <sup>3</sup>
Metabolismo celular 0.5 a 0.6 Kg de SSVLM producidos/ Kg de sustrato consumido	Y	0.6	
Coefficiente de descomposición microbiana = 0.01 a 0.06 d <sup>-1</sup>	Kd	0.03	
<b>SISTEMA CONVENCIONAL</b>			
Volumen de tanque o reactor biológico	V		750 m <sup>3</sup>
Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado	SSVLM	3050 mg/L	3.05 Kg/m <sup>3</sup>
Tiempo medio de retención celular (Metclaf & Eddy)	TMRC	3.78 d	3 a 15 d
<b>SISTEMA DE AERACIÓN EXTENDIDA</b>			
Volumen de tanque o reactor biológico	V		3000 m <sup>3</sup>
Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado	SSVLM	4000 mg/L	4 Kg/m <sup>3</sup>
Tiempo medio de retención celular (Metclaf & Eddy)	TMRC	38.23 d	20 a 40 d

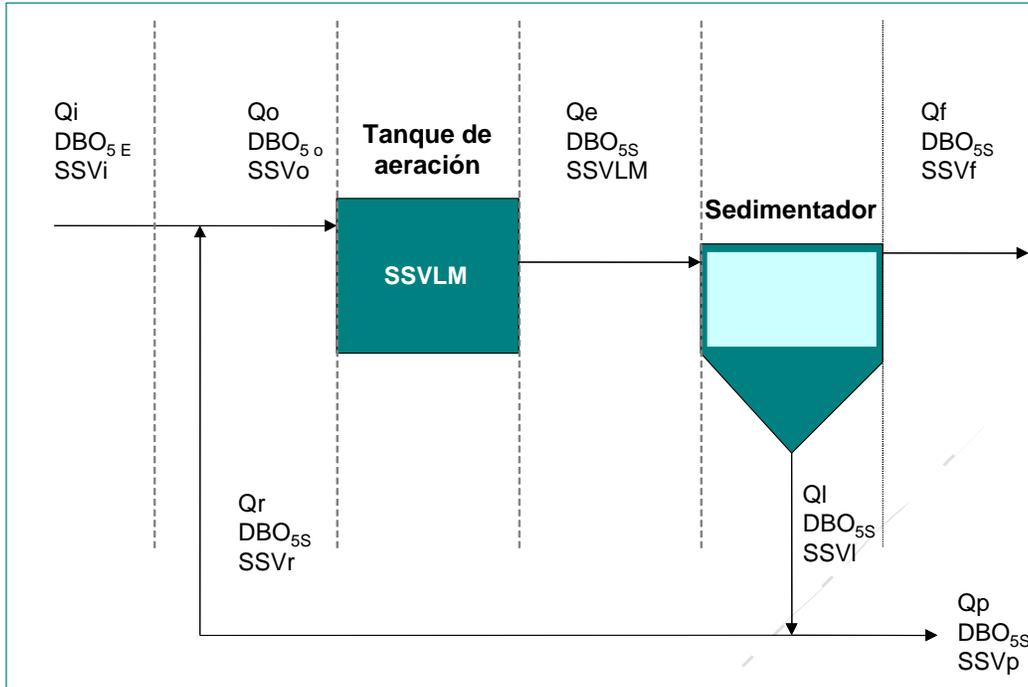


Fig. 5.51 Esquema e identificación de corrientes.

15.4.3.1 5.4.3.1 Cálculos con referencia de S. Ramalho.

5.4.3.1.1 Sistema convencional.

a) Cálculo de la producción neta de biomasa ( $\Delta SSV$ )

$$\Delta SSV = Y \cdot Q_i \cdot (DBO_{5E} - DBO_{5S}) - K_d \cdot SSVLM \cdot V$$

$$\Delta SSV = 0.6 \cdot 4320 \cdot (0.28 - 0.02) - 0.03 \cdot 3.05 \cdot 750$$

$$\Delta SSV = 673.92 - 68.63 = 605.30 \text{ Kg/d}$$

b) Cálculo la carga orgánica (A)

$$\text{Carga orgánica} = Q_i * \text{DBO}_{5E}$$

$$\text{Carga orgánica} = 4320 * 0.28 = 1209.6 \text{ Kg/d}$$

c) Cálculo de carga de SSVLM en el tanque (M)

$$\text{Carga SSVLM} = V * \text{SSVLM}$$

$$\text{Carga SSVLM} = 750 * 3.05 = 2287.5 \text{ Kg}$$

d) Relación alimento/microorganismos (A/M)

$$A/M = 1209.6 / 2287.5 = 0.53 \text{ d}^{-1}$$

e) Cálculo de la relación de recirculación (R)

$$R = \frac{Q_i \times \text{SSVLM} - \Delta \text{SSV}}{Q_i * (\text{SSV}_r - \text{SSVLM})}$$

$$R = \frac{4320 * 3.05 - 605.30}{4320 * (12 - 3.05)}$$

$$R = 0.325$$

f) Cálculo de caudales

Recirculación  $Q_r$

$$Q_r = R * Q_i$$

$$Q_r = 0.325 * 4320$$

$$Q_r = 1404 \text{ m}^3/\text{d} = 16.25 \text{ L/s}$$

Alimentación al tanque de aeración  $Q_o$

$$Q_o = Q_i + Q_r$$

$$Q_o = 4320 + 1404 = 5724 \text{ m}^3/\text{d} = 66.25 \text{ L/s}$$

Purga  $Q_p$

$$Q_p = \frac{\Delta SSV - Q_i * DBO_{5S}}{SSV_r - SSV_e}$$

$$Q_p = \frac{605.30 - 4320 * 0.02}{12 - 0.01}$$

$$Q_p = 43.28 \text{ m}^3 / \text{d} = 0.50 \text{ L/s}$$

Salida del sedimentador  $Q_l$

$$Ql = Qp + Qr$$

$$Ql = 43.28 + 1404 = 1447.28 \text{ m}^3/\text{d} = 16.75 \text{ L/s}$$

Salida Qf

$$Qf = Qi - Qp$$

$$Qf = 4320 - 43.28 = 4276.72 \text{ m}^3/\text{d} = 49.50 \text{ L/s}$$

g) Producción total de lodos

$$SSVp = Qp * SSVr$$

$$SSVp = 43.28 * 12 = 519.36 \text{ Kg/d} = 21.64 \text{ Kg/h}$$

h) Cálculo de la DBO<sub>5</sub> a la entrada del tanque de aeración (DBO<sub>5o</sub>)

$$DBO_{5o} = \frac{Qi * DBO_{5E} + Qr * DBO_{5S}}{Qo}$$

$$DBO_{5o} = \frac{4320 * 0.28 + 1404 * 0.02}{5724}$$

$$DBO_{5o} = 0.216 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 216 \text{ mg} / \text{L}$$

i) Cálculo de los sólidos suspendidos volátiles a la entrada del tanque de aeración

(SSVo)

$$SSVo = \frac{Qi * SSVi + Qr * SSVr}{Qo}$$

$$SSVo = \frac{4320 * 0 + 1404 * 12}{5724}$$

$$SSVo = 2.94 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 2943 \text{ mg} / \text{L}$$

j) Cálculo la carga orgánica a la entrada del tanque de aeración (Ao)

$$\text{Carga orgánica} = Qo * \text{DBO}_{50}$$

$$\text{Carga orgánica} = 5724 * 0.216 = 1236.38 \text{ Kg/d}$$

k) Relación alimento/microorganismos a la entrada del tanque de aeración (Ao/M)

$$Ao/M = 1236.38 / 2287.5 = 0.54$$

l) Tiempo medio de retención celular (edad de lodos)

$$TMRC = \frac{SSVLM * V}{\Delta SSV}$$

$$TMRC = \frac{3.05 * 750}{605.30}$$

$$TMRC = 3.78 \text{ d}$$

m) Tiempo de residencia hidráulico

$$trh = \frac{V}{Qo}$$

$$trh = \frac{750}{5724}$$

$$trh = 0.13 \text{ d} = 3.14 \text{ h}$$

En la figura 5.52 se muestra un resumen de los valores antes calculados y localizados en su respectiva corriente.

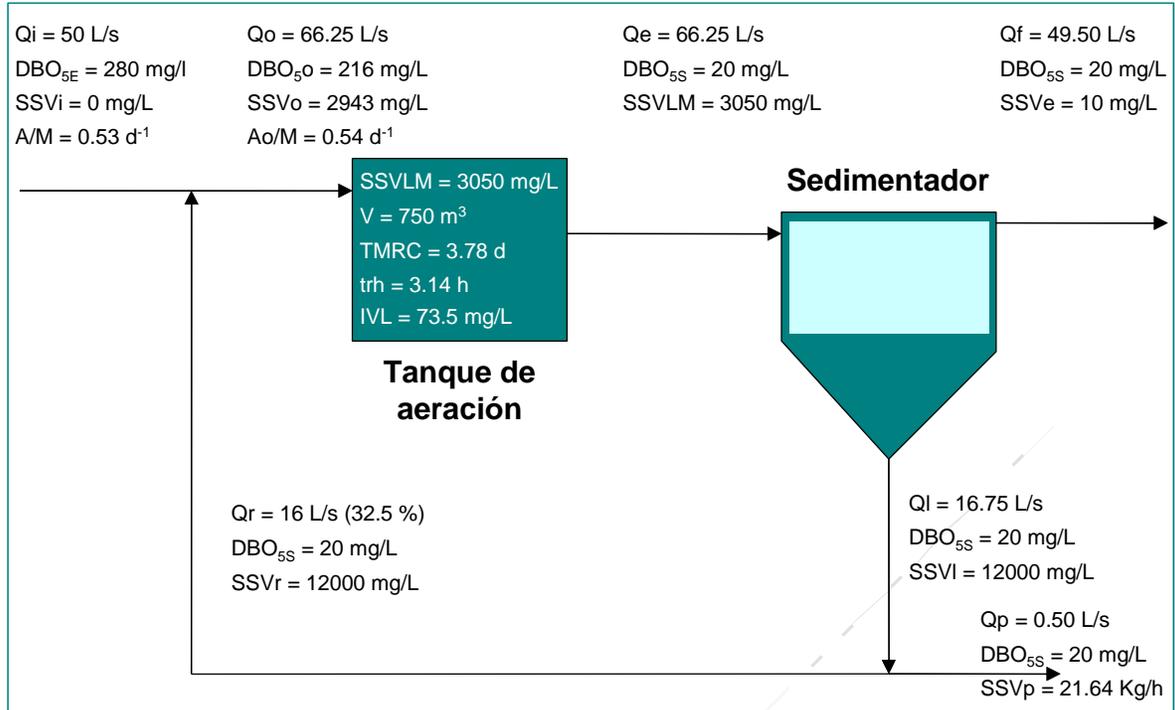


Fig. 5.52 Corrientes principales y sus parámetros. Ramalho, sistema convencional.

Análisis de resultados

Proceso	Tipo de flujo	TMRC (d)	A/M	SSVLM (mg/L)	Recir. (%)	IVL (ml/g)	trh (h)
Convencional	Completamente mezclado	5 – 15	0.3-0.7	2,000-3,000		150 a 35	4 – 8
Ejercicio							
Convencional	Completamente mezclado	3.78	0.53	3050	32.5	73.5	3.14

5.4.3.1.2 Sistema de aeración extendida.

a) Cálculo de la producción neta de biomasa ( $\Delta SSV$ )

$$\Delta\text{SSV} = Y \cdot Q_i \cdot (\text{DBO}_{5E} - \text{DBO}_{5S}) - K_d \cdot \text{SSVLM} \cdot V$$

$$\Delta\text{SSV} = 0.6 \cdot 4320 \cdot (0.28 - 0.02) - 0.03 \cdot 4 \cdot 3000$$

$$\Delta\text{SSV} = 673.92 - 360 = 313.92 \text{ Kg/d}$$

b) Cálculo la carga orgánica (A)

$$\text{Carga orgánica} = Q_i \cdot \text{DBO}_{5E}$$

$$\text{Carga orgánica} = 4320 \cdot 0.28 = 1209.6 \text{ Kg/d}$$

c) Cálculo de carga de SSVLM en el tanque (M)

$$\text{Carga SSVLM} = V \cdot \text{SSVLM}$$

$$\text{Carga SSVLM} = 3000 \cdot 4 = 12000 \text{ Kg}$$

d) Relación alimento/microorganismos (A/M)

$$A/M = 1209.6 / 12000 = 0.10 \text{ d}^{-1}$$

e) Cálculo de la relación de recirculación (R)

$$R = \frac{SSVLM - (0.23 * Y * (DBO_{5E} - DBO_{5S}))}{SSVr - SSVLM}$$

$$R = \frac{4 - (0.23 * 0.60 * (0.28 - 0.02))}{12 - 4}$$

$$R = 0.495$$

f) Cálculo de caudales

Recirculación  $Q_r$

$$Q_r = R * Q_i$$

$$Q_r = 0.495 * 4320$$

$$Q_r = 2140.62 \text{ m}^3/\text{d} = 24.78 \text{ L/s}$$

Alimentación al tanque de aeración  $Q_o$

$$Q_o = Q_i + Q_r$$

$$Q_o = 4320 + 2140.62 = 6460.62 \text{ m}^3/\text{d} = 74.78 \text{ L/s}$$

Purga  $Q_p$

$$Q_p = \frac{\Delta SSV - Q_i * DBO_{5S}}{SSV_r - SSV_e}$$

$$Q_p = \frac{313.92 - 4320 * 0.02}{12 - 0.01}$$

$$Q_p = 18.89 \text{ m}^3 / \text{d} = 0.22 \text{ L/s}$$

Salida del sedimentador Q<sub>I</sub>

$$Q_I = Q_p + Q_r$$

$$Q_I = 18.89 + 2140.62 = 2159.51 \text{ m}^3/\text{d} = 24.99 \text{ L/s}$$

Salida Q<sub>f</sub>

$$Q_f = Q_i - Q_p$$

$$Q_f = 4320 - 18.89 = 4301.11 \text{ m}^3/\text{d} = 49.78 \text{ L/s}$$

g) Producción total de lodos

$$SSV_p = Q_p * SSV_r$$

$$SSVp = 18.89 * 12 = 226.68 \text{ Kg/d} = 9.45 \text{ Kg/h}$$

h) Cálculo de la DBO<sub>5</sub> a la entrada del tanque de aeración (DBO<sub>5o</sub>)

$$DBO_{5o} = \frac{Q_i * DBO_{5E} + Q_r * DBO_{5S}}{Q_o}$$

$$DBO_{5o} = \frac{4320 * 0.28 + 2140.62 * 0.02}{6460.62}$$

$$DBO_{5o} = 0.19 \text{ Kg/m}^3 = 194 \text{ mg/L}$$

i) Cálculo de los sólidos suspendidos volátiles a la entrada del tanque de aeración (SSVo)

$$SSVo = \frac{Q_i * SSVi + Q_r * SSVr}{Q_o}$$

$$SSVo = \frac{4320 * 0 + 2140.62 * 12}{6460.62}$$

$$SSVo = 3.98 \text{ Kg/m}^3 = 3976 \text{ mg/L}$$

j) Cálculo la carga orgánica a la entrada del tanque de aeración (A<sub>o</sub>)

$$\text{Carga orgánica} = Q_o * DBO_{5o}$$

$$\text{Carga orgánica} = 6460.62 * 0.194 = 1253.36 \text{ Kg/d}$$

k) Relación alimento/microorganismos a la entrada del tanque de aeración (Ao/M)

$$A_o/M = 1253.36 / 12000 = 0.10 \text{ d}^{-1}$$

l) Tiempo medio de retención celular (edad de lodos)

$$TMRC = \frac{SSVLM * V}{\Delta SSV}$$

$$TMRC = \frac{4 * 3000}{313.92}$$

$$TMRC = 38.23 \text{ d}$$

m) Tiempo de residencia hidráulico

$$trh = \frac{V}{Q_o}$$

$$trh = \frac{3000}{6460.62}$$

$$trh = 0.46 \text{ d} = 11 \text{ h}$$

En la figura 5.53 se muestra un resumen de los valores antes calculados y localizados en su respectiva corriente.

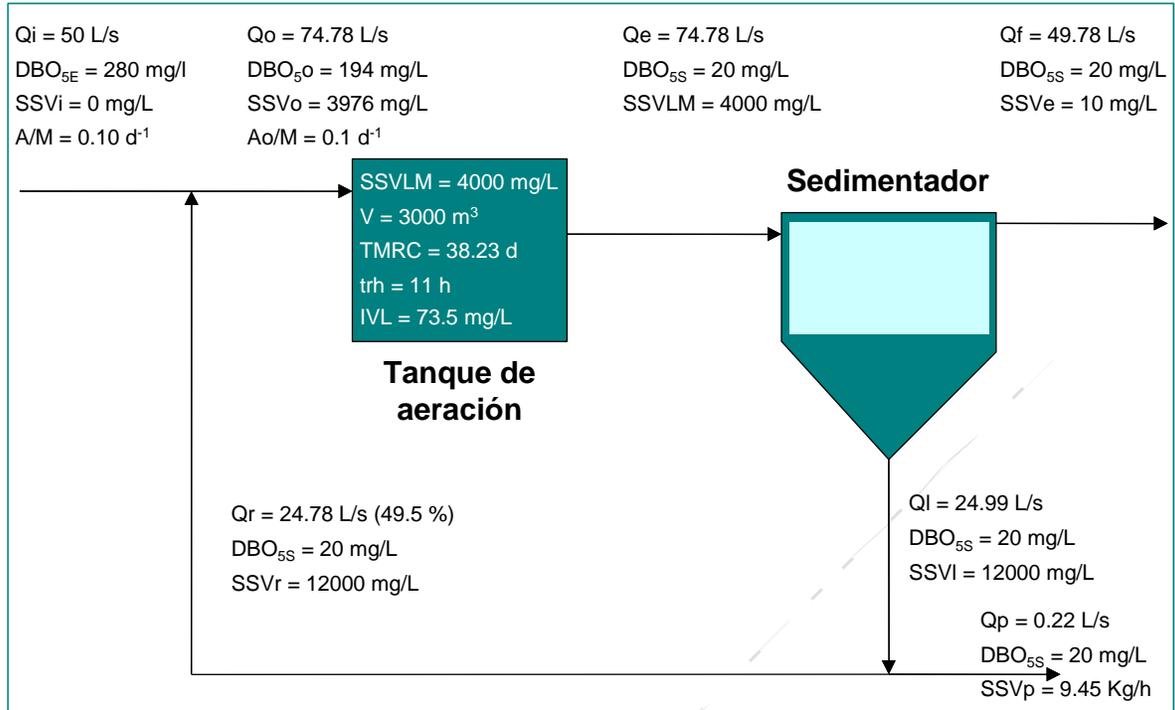


Fig. 5.53 Corrientes principales y sus parámetros. Ramalho, aeración extendida.

Análisis de resultados

Proceso	Tipo de flujo	TMRC (d)	A/M	SSVLM (mg/L)	Recir. (%)	IVL (ml/g)	trh (h)
Aeración extendida	Completamente mezclado	20-60	0.1-0.25	3,500-5,000		150 a 35	15-36
Ejercicio							
Aeración extendida	Completamente mezclado	38.23	0.10	4000	49.5	73.5	11

15.4.3.2 5.4.3.2 Cálculos con referencia de Metclaf & Eddy.

5.4.3.2.1 Sistema convencional

a) Cálculo de la producción neta de biomasa ( $\Delta$ SSV)

$$\Delta\text{SSV} = (\text{SSVLM} * V) / \text{TMRC}$$

$$\Delta\text{SSV} = (3.05 * 750) / 3.78$$

$$\Delta\text{SSV} = 605.16 \text{ Kg/d}$$

b) Cálculo la carga orgánica (A)

$$\text{Carga orgánica} = Q_i * \text{DBO}_{5E}$$

$$\text{Carga orgánica} = 4320 * 0.28 = 1209.6 \text{ Kg/d}$$

c) Cálculo de carga de SSVLM en el tanque (M)

$$\text{Carga SSVLM} = V * \text{SSVLM}$$

$$\text{Carga SSVLM} = 750 * 3.05 = 2287.5 \text{ Kg}$$

d) Relación alimento/microorganismos (A/M)

$$A/M = 1209.6 / 2287.5 = 0.53 \text{ d}^{-1}$$

e) Cálculo de la relación de recirculación (R)

$$R = \frac{1 - (V / (Q_i * TMRC))}{(SSV_r / SSV_{LM}) - 1}$$

$$R = \frac{1 - (750 / (4320 * 3.78))}{(12 / 3.05) - 1}$$

$$R = 0.954 / 2.934 = 0.325$$

f) Cálculo de caudales

Recirculación  $Q_r$

$$Q_r = R * Q_i$$

$$Q_r = 0.325 * 4320$$

$$Q_r = 1404 \text{ m}^3/\text{d} = 16.25 \text{ L/s}$$

Alimentación al tanque de aeración  $Q_o$

$$Q_o = Q_i + Q_r$$

$$Q_o = 4320 + 1404 = 5724 \text{ m}^3/\text{d} = 66.25 \text{ L/s}$$

Purga Qp

$$Qp = \frac{((V * SSVLM) / TMRC) - (Qi * SSVe)}{SSVr - SSVe}$$

$$Qp = \frac{((750 * 3.05 / 3.78) - (4320 * 0.01))}{12 - 0.01}$$

$$Qp = \frac{561.96}{11.99}$$

$$Qp = 46.87 \text{ m}^3 / \text{d} = 0.54 \text{ L} / \text{s}$$

Salida del sedimentador Ql

$$Ql = Qp + Qr$$

$$Ql = 46.87 + 1404 = 1450.87 \text{ m}^3 / \text{d} = 16.79 \text{ L} / \text{s}$$

Salida Qf

$$Qf = Qi - Qp$$

$$Qf = 4320 - 46.87 = 4273.13 \text{ m}^3 / \text{d} = 49.46 \text{ L} / \text{s}$$

g) Producción total de lodos

$$SSVp = Qp * SSVr$$

$$SSVp = 46.87 * 12 = 562.44 \text{ Kg/d} = 23.44 \text{ Kg/h}$$

h) Cálculo de la DBO<sub>5</sub> a la entrada del tanque de aeración (DBO<sub>5o</sub>)

$$DBO_{5o} = \frac{Q_i * DBO_{5E} + Q_r * DBO_{5S}}{Q_o}$$

$$DBO_{5o} = \frac{4320 * 0.28 + 1404 * 0.02}{5724}$$

$$DBO_{5o} = 0.216 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 216 \text{ mg} / \text{L}$$

i) Cálculo de los sólidos suspendidos volátiles a la entrada del tanque de aeración (SSVo)

$$SSVo = \frac{Q_i * SSVi + Q_r * SSVr}{Q_o}$$

$$SSVo = \frac{4320 * 0 + 1404 * 12}{5724}$$

$$SSVo = 2.94 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 2943 \text{ mg} / \text{L}$$

j) Cálculo la carga orgánica a la entrada del tanque de aeración ( $A_o$ )

$$\text{Carga orgánica} = Q_o * \text{DBO}_{50}$$

$$\text{Carga orgánica} = 5724 * 0.216 = 1236.38 \text{ Kg/d}$$

k) Relación alimento/microorganismos a la entrada del tanque de aeración ( $A_o/M$ )

$$A_o/M = 1236.38 / 2287.5 = 0.54$$

l) Tiempo de residencia hidráulico

$$trh = \frac{V}{Q_o}$$

$$trh = \frac{750}{5724}$$

$$trh = 0.13 \text{ d} = 3.14 \text{ h}$$

En la figura 5.54 se muestra un resumen de los valores antes calculados y localizados en su respectiva corriente.

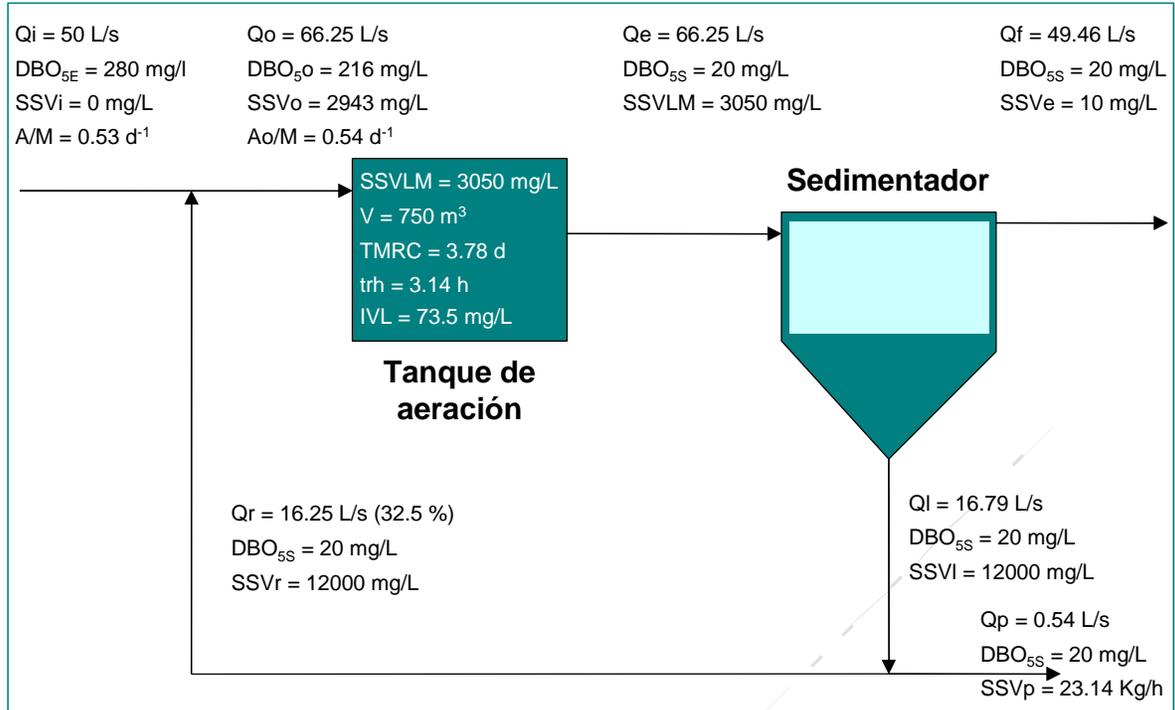


Fig. 5.54 Corrientes principales y sus parámetros. Matcalf&Eddy, sistema convencional.

Análisis de resultados

Proceso	Tipo de flujo	TMRC (d)	A/M	SSVLM (mg/L)	Recir. (%)	IVL (ml/g)	trh (h)
Convencional	Completamente mezclado	3-15	0.2-0.4	1,000-3,000	25 a 75	150 a 35	4-8
Ejercicio							
Convencional	Completamente mezclado	3.78	0.53	3050	32.5	73.5	3.14

5.4.3.2.2 Sistema de aeración extendida.

a) Cálculo de la producción neta de biomasa ( $\Delta SSV$ )

$$\Delta SSV = (SSVLM * V) / TMRC$$

$$\Delta SSV = (4 * 3000) / 38.23$$

$$\Delta SSV = 313.89 \text{ Kg/d}$$

b) Cálculo la carga orgánica (A)

$$\text{Carga orgánica} = Q_i * DBO_{5E}$$

$$\text{Carga orgánica} = 4320 * 0.28 = 1209.6 \text{ Kg/d}$$

c) Cálculo de carga de SSVLM en el tanque (M)

$$\text{Carga SSVLM} = V * SSVLM$$

$$\text{Carga SSVLM} = 3000 * 4 = 12000 \text{ Kg}$$

d) Relación alimento/microorganismos (A/M)

$$A/M = 1209.6 / 12000 = 0.10 \text{ d}^{-1}$$

e) Cálculo de la relación de recirculación (R)

$$R = \frac{1 - (V / (Q_i * TMRC))}{(SSV_r / SSV_{LM}) - 1}$$

$$R = \frac{1 - (3000 / (4320 * 38.23))}{(12/4) - 1}$$

$$R = 0.982 / 2 = 0.491$$

f) Cálculo de caudales de recirculación  $Q_r$

$$Q_r = R * Q_i$$

$$Q_r = 0.491 * 4320$$

$$Q_r = 2120.76 \text{ m}^3/\text{d} = 24.55 \text{ L/s}$$

Alimentación al tanque de aeración  $Q_o$

$$Q_o = Q_i + Q_r$$

$$Q_o = 4320 + 2120.76 = 6440.76 \text{ m}^3/\text{d} = 74.55 \text{ L/s}$$

Purga  $Q_p$

$$Q_p = \frac{((V * SSVLM) / TMRC) - (Q_i * SSV_e)}{SSV_r - SSV_e}$$

$$Q_p = \frac{((3000 * 4) / 38.23) - (4320 * 0.01)}{12 - 0.01}$$

$$Q_p = \frac{270.69}{11.99}$$

$$Q_p = 22.58 \text{ m}^3 / \text{d} = 0.26 \text{ L} / \text{s}$$

Salida del sedimentador Q<sub>l</sub>

$$Q_l = Q_p + Q_r$$

$$Q_l = 22.58 + 2120.76 = 2143.34 \text{ m}^3 / \text{d} = 24.81 \text{ L} / \text{s}$$

Salida Q<sub>f</sub>

$$Q_f = Q_i - Q_p$$

$$Q_f = 4320 - 22.53 = 4297.47 \text{ m}^3 / \text{d} = 49.74 \text{ L} / \text{s}$$

g) Producción total de lodos

$$SSV_p = Q_p * SSV_r$$

$$SSVp = 22.58 * 12 = 270.96 \text{ Kg/d} = 11.29 \text{ Kg/h}$$

h) Cálculo de la DBO<sub>5</sub> a la entrada del tanque de aeración (DBO<sub>5o</sub>)

$$DBO_{5o} = \frac{Q_i * DBO_{5E} + Q_r * DBO_{5S}}{Q_o}$$

$$DBO_{5o} = \frac{4320 * 0.28 + 2120.76 * 0.02}{6440.76}$$

$$DBO_{5o} = 0.194 \text{ Kg/m}^3 = 194 \text{ mg/L}$$

i) Cálculo de los sólidos suspendidos volátiles a la entrada del tanque de aeración (SSVo)

$$SSVo = \frac{Q_i * SSVi + Q_r * SSVr}{Q_o}$$

$$SSVo = \frac{4320 * 0 + 2120.76 * 12}{6440.76}$$

$$SSVo = 3.95 \text{ Kg/m}^3 = 3951 \text{ mg/L}$$

j) Cálculo la carga orgánica a la entrada del tanque de aeración (A<sub>o</sub>)

$$\text{Carga orgánica} = Q_o * DBO_{5o}$$

$$\text{Carga orgánica} = 6440.76 * 0.194 = 1249.51 \text{ Kg/d}$$

k) Relación alimento/microorganismos a la entrada del tanque de aeración (Ao/M)

$$A_o/M = 1249.51 / 12000 = 0.10 \text{ d}^{-1}$$

l) Tiempo de residencia hidráulico

$$trh = \frac{V}{Q_o}$$

$$trh = \frac{3000}{6440.76}$$

$$trh = 0.466 \text{ d} = 11.18 \text{ h}$$

En la figura 5.55 se muestra un resumen de los valores antes calculados y localizados en su respectiva corriente.

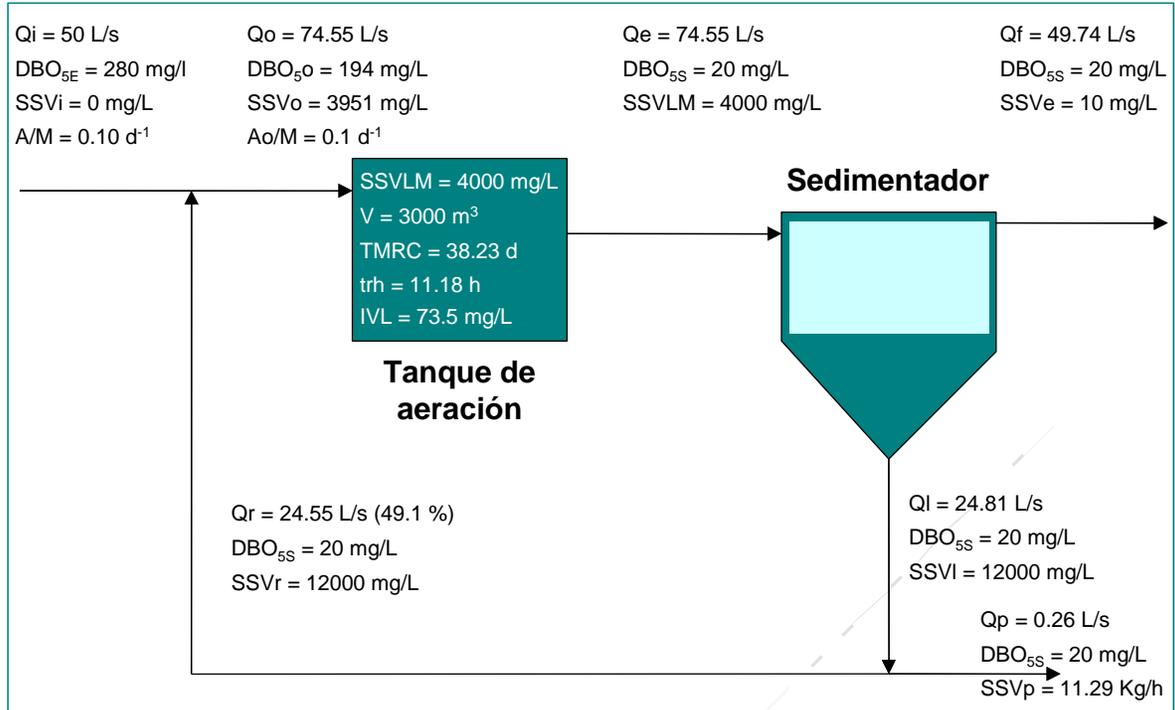


Fig. 5.55 Corrientes principales y sus parámetros. Matcalf&Eddy, aeración extendida.

#### Análisis de resultados

Proceso	Tipo de flujo	TMRC (d)	A/M	SSVLM (mg/L)	Recir. (%)	IVL (ml/g)	trh (h)
Aeración extendida	Completamente mezclado	20-40	0.04-0.1	2,000-5,000	50-150	150 a 35	20-30
Ejercicio							
Aeración extendida	Completamente mezclado	38.23	0.10	4000	49.1	73.5	11.18

#### 15.4.3.3 5.4.3.3 Índice volumétrico de lodos.

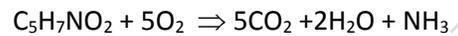
La lectura de una prueba de sedimentabilidad de 30 min. fué de 250 ml/L y la concentración de SSLM en el aerador fue de 3400 mg/L (3.4 g). Calcule el IVL.

$$IVL = \frac{250}{3.4}$$

$$IVL = 73.5 \text{ ml / g}$$

15.4.3.4 5.4.3.4 Consumo de oxígeno

5.4.3.4.1 Sistema aeración extendida



$$(5 \cdot 32) / 113 = 1.42 \text{ unidades de } O_2 / \text{unidad de biomasa oxidada}$$

a) Oxidación de materia orgánica

$$Kg \text{ } O_2/d = Qi \cdot (1 - 1.42Y) \cdot (DBO_{5E} - DBO_{5S}) + 1.42Kd \cdot SSVLM \cdot V$$

$$Kg \text{ } O_2/d = 4320 \cdot (1 - 1.42 \cdot 0.6) \cdot (0.280 - 0.02) + 1.42 \cdot 0.03 \cdot 3.05 \cdot 750$$

$$Kg \text{ } O_2/d = 166.23 + 97.45$$

$$Kg \text{ } O_2/d = 263.68 = 10.99 \text{ Kg/h}$$

b) Con nitrificación



$$(2 \cdot 32) / 14 = 4.57 \text{ g de O}_2 / \text{g de nitrógeno oxidado}$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = Q_i \cdot (1 - 1.42Y) \cdot (\text{DBO}_{5E} - \text{DBO}_{5S}) + 1.42K_d \cdot \text{SSVLM} \cdot V + 4.57 \cdot Q_i \cdot (\text{SiNH} - \text{SeNH})$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 4320 \cdot (1 - 1.42 \cdot 0.6) \cdot (0.280 - 0.02) + 1.42 \cdot 0.03 \cdot 3.05 \cdot 750 + 4.57 \cdot 4320 \cdot (0.03 - 0.002)$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 166.23 + 97.45 + 552.79$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 816.47 = 34.02 \text{ Kg/h}$$

c) Con nitrificación menos formación de células

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = Q_i \cdot (1 - 1.42Y) \cdot (\text{DBO}_{5E} - \text{DBO}_{5S}) + 1.42K_d \cdot \text{SSVLM} \cdot V + 4.33 \cdot Q_i \cdot (\text{SiNH} - \text{SeNH})$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 4320 \cdot (1 - 1.42 \cdot 0.6) \cdot (0.280 - 0.02) + 1.42 \cdot 0.03 \cdot 3.05 \cdot 750 + 4.33 \cdot 4320 \cdot (0.03 - 0.002)$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 166.23 + 97.45 + 523.76$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 787.44 = 30.72 \text{ Kg/h}$$

d) Cálculo del volumen de aire (VA)

$$\text{VA} = \text{Kg O}_2/\text{d} / ((-0.00003 \cdot \text{At} - 0.0009 \cdot \text{T} + 0.2698) \cdot r)$$

VA = Volumen de aire (m<sup>3</sup> /d)

At = Altitud sobre el nivel del mar (m) = 1500 m

T = Temperatura ambiente (°C) = 25

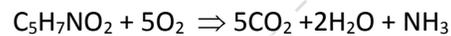
r = Coeficiente de transferencia de oxígeno, 0.04 a 0.16 = 0.08

$$VA = 787.44 / ((-0.00003 * 1500 - 0.0009 * 25 + 0.2698) * 0.08)$$

$$VA = 787.44 / 0.016184$$

$$VA = 48655.33 \text{ m}^3 / \text{d} = 563.14 \text{ L/s}$$

#### 5.4.3.4.2 Sistema convencional.



$$(5 * 32) / 113 = 1.42 \text{ unidades de O}_2 / \text{unidad de biomasa oxidada}$$

a) Oxidación de materia orgánica

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = Q_i * (1 - 1.42Y) * (\text{DBO}_{5E} - \text{DBO}_{5S}) + 1.42K_d * \text{SSVLM} * V$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 4320 * (1 - 1.42 * 0.6) * (0.280 - 0.02) + 1.42 * 0.03 * 4 * 3000$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 166.23 + 511.2$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 677.43 = 28.23 \text{ Kg/h}$$

b) Con nitrificación



$$(2 \cdot 32) / 14 = 4.57 \text{ g de O}_2 / \text{g de nitrógeno oxidado}$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = Q_i * (1 - 1.42Y) * (\text{DBO}_{5E} - \text{DBO}_{5S}) + 1.42K_d * \text{SSVLM} * V + 4.57 * Q_i * (\text{SiNH} - \text{SeNH})$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 4320 * (1 - 1.42 * 0.6) * (0.280 - 0.02) + 1.42 * 0.03 * 4 * 3000 + 4.57 * 4320 * (0.03 - 0.002)$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 166.23 + 511.2 + 552.79$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 1230.22 = 51.26 \text{ Kg/h}$$

c) Con nitrificación menos formación de células

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = Q_i * (1 - 1.42Y) * (\text{DBO}_{5E} - \text{DBO}_{5S}) + 1.42K_d * \text{SSVLM} * V + 4.33 * Q_i * (\text{SiNH} - \text{SeNH})$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 4320 * (1 - 1.42 * 0.6) * (0.280 - 0.02) + 1.42 * 0.03 * 3.05 * 750 + 4.33 * 4320 * (0.03 - 0.002)$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 166.23 + 511.2 + 523.76$$

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = 1201.17 = 50.05 \text{ Kg/h}$$

d) Cálculo del volumen de aire (VA)

$$VA = Kg O_2/d / ((-0.00003 * At - 0.0009 * T + 0.2698) * r)$$

VA = Volumen de aire (m<sup>3</sup> /d)

At = Altitud sobre el nivel del mar (m) = 1500 m

T = Temperatura ambiente (°C) = 25

r = Coeficiente de transferencia de oxígeno, 0.04 a 0.16 = 0.08

$$VA = 1201.17 / ((-0.00003 * 1500 - 0.0009 * 25 + 0.2698) * 0.08)$$

$$VA = 1201.17 / 0.016184$$

$$VA = 74220.86 \text{ m}^3 /d = 859.04 \text{ L/s}$$

#### 15.4.3.5 5.4.3.5 Nutrientes.

##### 5.4.3.5.1 Convencional.

Composición de un microorganismo = C<sub>60</sub>H<sub>87</sub>O<sub>23</sub>N<sub>12</sub>P = 1374

$$\text{Nitrógeno } 168/1374 = 0.122$$

$$\text{Fósforo } 31/1374 = 0.023$$

a) Nutrientes perdidos por formación de microorganismos (NM)

$$\text{Nitrógeno} = 0.122 \Delta\text{SSV} = 0.122 * 605.30 = 73.85 \text{ Kg/d}$$

$$\text{Fósforo} = 0.023 \Delta\text{SSV} = 0.023 * 605.30 = 13.92 \text{ Kg/d}$$

b) Nutrientes perdidos en el efluente (NE)

$$\text{Nitrógeno} = \text{SeNH} * \text{Qf} = 0.002 * 4291.49 = 8.58 \text{ Kg/d}$$

$$\text{Fósforo} = \text{SePT} * \text{Qf} = 0.001 * 4291.49 = 4.29 \text{ Kg/d}$$

c) Nutrientes disponibles (ND)

$$\text{Nitrógeno} = \text{SiNH} * \text{Qi} = 0.03 * 4320 = 129.6 \text{ Kg/d}$$

$$\text{Fósforo} = \text{SiPT} * \text{Qi} = 0.004 * 4320 = 17.28 \text{ Kg/d}$$

d) Nutrientes requeridos

$$\text{Nitrógeno} = \text{ND} - \text{NM} - \text{NE} = 129.60 - 73.85 - 8.58 = 47.17 \text{ Kg/d}$$

$$\text{Fósforo} = \text{ND} - \text{NM} - \text{NE} = 17.28 - 13.92 - 4.29 = -0.93 \text{ Kg/d}$$

Por lo anterior solo es necesario adicionar fósforo al sistema.

*5.4.3.5.2 Aeración extendida*

Composición de un microorganismo =  $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P = 1374$

Nitrógeno  $168/1374 = 0.122$

Fósforo  $31/1374 = 0.023$

e) Nutrientes perdidos por formación de microorganismos (NM)

Nitrógeno =  $0.122 \Delta SSV = 0.122 * 313.92 = 38.30 \text{ Kg/d}$

Fósforo =  $0.023 \Delta SSV = 0.023 * 313.92 = 7.22 \text{ Kg/d}$

f) Nutrientes perdidos en el efluente (NE)

Nitrógeno =  $SeNH * Q_f = 0.002 * 4291.49 = 8.58 \text{ Kg/d}$

Fósforo =  $SePT * Q_f = 0.001 * 4291.49 = 4.29 \text{ Kg/d}$

g) Nutrientes disponibles (ND)

Nitrógeno =  $SiNH * Q_i = 0.03 * 4320 = 129.6 \text{ Kg/d}$

Fósforo =  $SiPT * Q_i = 0.004 * 4320 = 17.28 \text{ Kg/d}$

h) Nutrientes requeridos

$$\text{Nitrógeno} = \text{ND} - \text{NM} - \text{NE} = 129.60 - 38.30 - 8.58 = 82.72 \text{ Kg/d}$$

$$\text{Fósforo} = \text{ND} - \text{NM} - \text{NE} = 17.28 - 7.22 - 4.29 = 14.35 \text{ Kg/d}$$

Por lo anterior no es necesario adicionar nutrientes al sistema.

#### 15.4.3.6 5.4.3.6 Resumen de resultados.

La siguiente tabla 5.11 muestra un comparativo de los resultados obtenidos por los sistemas convención y aeración extendida, y a su vez con referencia de R.S. Ramalho y de Metclaf & Eddy.

Tabla 5.11 Resultados del control de proceso de lodos activados.

Parámetro	S.R. Ramalho		Metclaf&Eddy	
	Convencional	A. Extendida	Convencional	A. Extendida
$\Delta\text{SSV}$ (kg/d)	605.30	313.92	605.16	313.89
A/M (d <sup>-1</sup> )	0.53	0.10	0.53	0.10
R	0.325	0.495	0.325	0.491
Qr (L/s)	16.25	24.78	16.25	24.55
Qo (L/s)	66.25	74.78	66.25	74.55
Qp (L/s)	0.50	0.22	0.54	0.26
Ql (L/s)	16.75	24.99	16.79	24.81

Qf (L/s)	49.50	49.78	49.46	49.74
SSVp (Kg/h)	21.64	9.45	23.44	11.29
DBO <sub>50</sub> (mg/L)	216.00	194.00	216.00	194.00
SSVo (mg/L)	2943.00	3976.00	2943.00	3951.00
TMRC (d)	3.78	38.23		
trh (h)	3.14	11.00	3.14	11.18
Kg O <sub>2</sub> /d	787.44	1201.19		
Vol. de aire (L/s)	563.14	859.04		

#### 15.4.4 5.4.4 Problemas comunes y acciones correctivas.

##### *Introducción.*

Todas las plantas de tratamiento presentan problemas ocasional o continuamente; algunas veces no afectan sustancialmente al proceso, otras 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 funcionamiento del proceso es *identificar la causa del problema*. Solamente después de identificar la verdadera causa del problema se puede dar la solución óptima.

Esto parece obvio, pero es común 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 nos lleven a la determinación de la causa del problema.

En esta sección del curso se verán los problemas típicos que se pueden presentar, métodos para identificar las causas potenciales y acciones correctivas que se pueden aplicar.

### *Técnicas generales.*

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.

Se resumen los pasos en la solución de problemas del funcionamiento del proceso.

1. Anote y describa el problema.
2. Caracterice los síntomas del problema y su periodicidad.
3. Compare las características del problema con posibles causas asociadas.
4. Si existen múltiples causas posibles asociadas al problema, realice un listado y elimine las que no apliquen.
5. Una vez definida la causa o causas, llevar a cabo el programa de acciones para remediar el problema, eliminando las causas.

La tabla 5.12 contiene problemas típicos en el sedimentador secundario.

Tabla 5.12 Problemas típicos en el sedimentador (Resumen).

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.

TIPO DE PROBLEMA	SÍNTOMAS	CAUSA
FLOTACIÓN DE LODOS	Sólidos biológicos flotan en la superficie del sedimentador.	Demasiado tiempo de retención en el sedimentador.
DEFLÓCULOULACIÓN	Pequeño flóculo flotante, sobrenadante turbio.	Toxicidad, deficiencia de nutrientes, exceso de carga orgánica, condiciones anaerobias.
FLÓCULO DISPERSO	Flóculo pequeño y ligero, sobrenadante claro.	Edad de lodos baja
FLÓCULO CABEZA DE ALFILER	Flóculo pequeño y pesado, efluente turbio, flóculo de rápida sedimentación.	Edad de lodos alta
ARRASTRE DE SÓLIDOS	Flóculo saludable que es empujado sobre el vertedor.	Vertedores desnivelados, sobrecarga desnivelada, sobrecarga hidráulica, flujo desigual en múltiples.

#### **15.4.5 5.4.5 Arranque de la planta.**

El arranque de cualquier proceso biológico, entre ellos el de lodos activados, se lleva tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr la estabilización y buen funcionamiento del proceso. Un arranque típico se compone de dos fases: arranque mecánico y arranque del proceso, este curso se enfoca principalmente al proceso.

Como se ha visto, el proceso básico de tratamiento para lodos activados consiste en un tanque de aeración y un clarificador. Sus principales funciones se enlistan a continuación:

- 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 pensar que el proceso de tratamiento por lodos activados ha sido alcanzado hasta que se establecen y normalizan estas funciones.

*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 solo, y los factores ambientales que se han visto y 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, estimación de cargas orgánicas y de sólidos al inicio, inoculación, revisión del equipo mecánico y familiarización con la planta incluyendo capacitación; se incluye el formato de requisitos.

### *Requisitos del arranque (para el proceso).*

A continuación se da un formato que se puede utilizar como guía para verificar las actividades previas al arranque. Cada organismo operador deberá incluir aspectos que considere relevantes para cada planta en particular.

En cuanto a otras actividades previas se tienen:

- Listado de equipos de la planta.
- No arrancar si faltan instalaciones y detalles de construcción.
- Revisar hidráulicamente los tanques.

Revisar todos los equipos antes de arrancar:

- Equipos de aeración.
- Bombas.
- Mecanismos de sedimentadores.

### *Arranque.*

Una vez que se han cubierto las actividades previas al arranque, suponiendo que todos los equipos mecánicos han sido probados y ajustados, que todos los tanques y tuberías estén limpias, y el sedimentador secundario están parcialmente llenos con el agua de las pruebas, los pasos a seguir son:

- Transporte del inóculo.
- Agregar aguas residuales al tanque de aeración.
- Arrancar el equipo de aeración.
- Agregar el inóculo.
- Arrancar el sedimentador.
- Iniciar la recirculación.
- Monitorear el proceso.
  - Oxígeno disuelto
  - Nutrientes
  - pH
  - DBO y DQO
  - Calidad del efluente
  - SSLM y SSVLM
  - Utilización de O. D.
  - Observaciones microscópicas
  - Pruebas de sedimentabilidad

### *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.

- Grafique 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.
- Grafique las concentraciones de DBO soluble contra el tiempo. La concentración caerá hasta valores esperados.
- Revise y grafique si es necesario, los datos de SSVLM y determine si se conserva la concentración deseada.
- Asegúrese que la purga de lodos ha sido establecida y que se tiene la relación A/M óptima, así como la edad de lodos.
- Compruebe que la utilización de OD está en los rangos comunes.
- Realice observaciones microscópicas y determine si los indicadores visuales son aceptables.
- Ajuste la recirculación a su valor normal (vea el cálculo del gasto de recirculación).
- Certifique que se han alcanzado las metas de calidad de acuerdo con el diseño a fin de alcanzar niveles aceptables de DBO y sólidos suspendidos.

### *Problemas típicos en el arranque.*

En el arranque puede presentarse cualquier número de problemas, por eso los preparativos previos al arranque son importantes. Aun 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.

- Espuma.
- Sedimentación deficiente con presencia de sólidos finos.
- Baja remoción de DBO5.
- Temperatura y condiciones climáticas desfavorables.

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS**

ACTIVIDADES PARA EL ARRANQUE

1. MUESTREO Y ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL

DBO<sub>5</sub> \_\_\_\_\_ mg/L

DQO \_\_\_\_\_ mg/L

pH \_\_\_\_\_ unidades

NH<sub>3</sub>-N \_\_\_\_\_ mg /l

O-P \_\_\_\_\_ mg/L

OTROS ANÁLISIS:

---

---

---

2. ESTIMACIÓN DE CONDICIONES DE ARRANQUE

GASTO \_\_\_\_\_ l/s

RELACIÓN A/M \_\_\_\_\_

NUTRIENTES REQUERIDOS

N \_\_\_\_\_ kg/día

P \_\_\_\_\_ kg/día

NEUTRALIZACIÓN REQUERIDA

ÁCIDO \_\_\_\_\_ l/d

BASE \_\_\_\_\_ l/d

3. INOCULACIÓN

	FUENTE		
	1	2	3
Proceso similar			
Agua residual similar			
Observación microscópica			
Utilización de oxígeno			
Fuente seleccionada			

Sitio de extracción del inóculo tanque de aeración, lodos de recirculación o digestor aerobio.

SSV DEL INOCULO \_\_\_\_\_ mg/L

Kg DE INOCULO REQUERIDO \_\_\_\_\_ kg

m<sup>3</sup> DE INOCULO \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

TRANSPORTE LIMPIO ( ) SI ( ) NO

## 15.5 5.5 Manual de operación y mantenimiento.

### 15.5.1 5.5.1 Registros 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

#### 15.5.1.1 5.5.1.1 Registros físicos

Estos registros describen las instalaciones y equipos de la planta e incluyen:

- Criterios de diseño de la planta
- Planos de la planta
- Manual de operación
- Registro de equipos que también incluye:
  - Nombre del proveedor
  - Fecha de compra
  - Modelo
  - Capacidad
  - Principales características
- Registro del mantenimiento de cada equipo
- Registros de costos de compra y reparación de equipos

#### 15.5.1.2 5.5.1.2 Registros de desempeño

Estos registros describen la operación de la planta y proveen de información tanto al operador como a cualquier persona que lo quiera, 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.

*15.5.1.3 5.5.1.3 Ejemplos de registros.*

- Registro de operación diario
- Registro de calidad del agua
- Registro de fallas de equipo
- Registro de reactivos
- Elaboración de reportes

A continuación se muestra una lista de actividades establecidas rutinariamente por cada media hora.

Hora	Actividad
09:00	Recepción de turno  Cambio de bombas de: Pretratamiento, tanque de aeración y recirculación de lodos.  Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna.  Recirculación de lodos.
09:30	Recirculación de lodos.
10:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna.  Toma de lectura de totalizador de agua tratada.  Recirculación de lodos.  Toma de gasto hotel Arcoiris.  Limpieza de rejillas de pretratamiento y desarenador.
10:30	Recirculación de lodos.  Cosecha de alga y lemna.
11:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna.  Recirculación de lodos.

Hora	Actividad
	Comida.
11:30	Comida
12:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna.  Recirculación de lodos.  Purga de lodos.  Peso de lodos secos.  Toma de gasto hotel Arcoiris.
12:30	Recirculación de lodos.  Limpieza de sensores de pH, OD, OR y SST de reactor 1.
13:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna.  Recirculación de lodos.
13:30	Recirculación de lodos.  Limpieza de turbidímetros.
14:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna.  Toma de lectura de totalizador de agua tratada.  Recirculación de lodos.  Toma de gasto hotel Arcoiris.  Limpieza de rejillas de pretratamiento y desarenador.
14:30	Recirculación de lodos.
15:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna.  Recirculación de lodos.
15:30	Recirculación de lodos.
16:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna.  Recirculación de lodos.  Toma de gasto hotel Arcoiris.
16:30	Recirculación de lodos.



Hora	Actividad
	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Recirculación de lodos.
17:00	Comida
17:30	Comida
18:00	Apagar la bomba de la laguna. Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Toma de lectura de totalizador de agua tratada. Recirculación de lodos. Toma de gasto hotel Arcoiris. Limpieza de rejillas de pretratamiento y desarenador.
18:30	Recirculación de lodos. Lavado de peceras. Alimentación de peces del estanque.
19:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Recirculación de lodos.
19:30	Recirculación de lodos. Cosecha de algas y lemna. Encendido del alumbrado de la planta.
20:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Recirculación de lodos. Toma de gasto hotel Arcoiris.
20:30	Recirculación de lodos.
21:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Recirculación de lodos. Comida
21:30	Comida



Hora	Actividad
22:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Toma de lectura de totalizador de agua tratada. Recirculación de lodos. Toma de gasto hotel Arcoiris. Limpieza de rejillas de pretratamiento y desarenador.
22:30	Recirculación de lodos. Cosecha de algas y lemna.
23:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Recirculación de lodos.
23:30	Recirculación de lodos. Cosecha de algas y lemna.
24:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Recirculación de lodos. Toma de gasto hotel Arcoiris. Cosecha de algas y lemna.
00:30	Recirculación de lodos. Limpieza de sensores de pH, OD, OR y SST de reactor 2.
01:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Recirculación de lodos.
01:30	Recirculación de lodos.
02:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Toma de lectura de totalizador de agua tratada. Recirculación de lodos. Toma de gasto hotel Arcoiris. Limpieza de rejillas de pretratamiento y desarenador.
02:30	Recirculación de lodos.



Hora	Actividad
	Limpieza de rejillas de pretratamiento. Purga de las llaves de aire de los tanques de aeración.
03:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Recirculación de lodos.
03:30	Recirculación de lodos.
04:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Recirculación de lodos. Toma de gasto hotel Arcoiris.
04:30	Recirculación de lodos. Limpieza de rastras y canal del sedimentador. Lavado de rejilla. Encendido de la bomba de la laguna.
05:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Recirculación de lodos.
05:30	Recirculación de lodos.
06:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Toma de lectura de totalizador de agua tratada. Recirculación de lodos. Toma de gasto hotel Arcoiris. Limpieza de rejillas de pretratamiento y desarenador.
06:30	Recirculación de lodos.
07:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna. Recirculación de lodos. Encender la bomba de la laguna.
07:30	Recirculación de lodos.
08:00	Determinación del gasto en: Pretratamiento, tanques de aeración y entrada y salida de la laguna.

Hora	Actividad
	Recirculación de lodos. Toma de gasto hotel Arcoiris.
08:30	Captura de datos. Registro en bitácora personal

Formatos de registro de índice volumétrico de lodos (IVL).

Formato de registro por prueba y cálculo de IVL.

Fecha:	01/01/2005	Hora:	9:30	Fecha:	01/01/2005	Hora:	18:30	Índice volumétrico de lodos	
Tanque 1		Tanque 2		Tanque 1		Tanque 2		01/01/2005	
SST:		SST:		SST:		SST:		Hora	9:30
t (min)	V (ml)	t (min)	V (ml)	t (min)	V (ml)	t (min)	V (ml)	Tanque 1	Tanque 2
5				5					
10				10				Hora	18:30
15				15				Tanque 1	Tanque 2
20				20					
25				25					
30				30					

Formato de registro diario y mensual del IVL.

Fecha	Hora	SST		IVL		Hora	SST		IVL	
		T1	T2	T1	T2		T1	T2	T1	T2
01/01/2005	9:30	0	0	0,00	0,00	18:30	0	0	0,00	0,00
02/01/2005	9:30	0	0	0,00	0,00	18:30	0	0	0,00	0,00
03/01/2005	9:30	0	0	0,00	0,00	18:30	0	0	0,00	0,00



04/01/2005	9:30	0	0	0,00	0,00	18:30	0	0	0,00	0,00
05/01/2005	9:30	0	0	0,00	0,00	18:30	0	0	0,00	0,00
06/01/2005	9:30	0	0	0,00	0,00	18:30	0	0	0,00	0,00

Formatos de registro de gasto

Formato de registro por hora.

MES:	ENERO		Tanques de aeración				Laguna de maduración				Autohotel		Totalizador	
	DÍA	HORA	Pre-tratamiento		Tanque 1		Tanque 2		Entrada					Salida
			Seg.	L/s	Seg.	L/s	Seg.	L/s	Seg.	L/s	Seg.	L/s	Seg.	L/s
1	00:00													
	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													

Formato de registro por día.

	Promedio	Total
	(L/s)	(m <sup>3</sup> /día)
Pretratamiento		
Tanque 1		
Tanque 2		
Laguna salida		
Autohotel		

Formato de registro diario y mensual del gasto.

ENERO					
Promedio (L/s)					
DÍA	Pretratamiento	Tanque 1	Tanque 2	Laguna salida	Autohotel
1					
2					
3					
4					



5					
6					
7					
8					
9					
10					

### **15.5.2 5.5.2 Mantenimiento.**

Una planta debe mantenerse siempre limpia. 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.

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 la aparición de modelos más modernos. Se justifica el cambio de un equipo cuando éste se vuelve obsoleto porque no es posible conseguir sus refacciones, ya que la continuidad del proceso no debe afectarse, porque el equipo más reciente favorezca la eficiencia del tratamiento o reduzca los costos de operación.

Un programa de mantenimiento es una parte muy importante en la operación de una planta. Este programa 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 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:

- Calendarización de actividades

- Registro de bitácoras
- Partes de almacén
- Control de presupuesto y costos
- 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.

#### *15.5.2.1 5.5.2.1 Calendarización de actividades.*

Este es la columna vertebral del programa de mantenimiento. Las instrucciones de operación y mantenimiento que se proporcionan cuando se compra un equipo pueden ser de gran utilidad para realizar el plan.

Los esfuerzos de la realización de la calendarización de deben enfocar a tareas específicas que se deben realizar en periodos de tiempo congruentes establecidos. 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

#### *15.5.2.2 5.5.2.2 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.

En las operaciones de rutina de una planta, el operador debe inspeccionar 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.

#### *15.5.2.3 5.5.2.3 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 operador. 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.

#### *15.5.2.4 5.5.2.4 Procedimientos especiales.*

Estos son muy importantes para poder desarrollar adecuadamente un programa de mantenimiento y se listan a continuación.

- Planes de paro de equipos para minimizar los impactos adversos a la operación de la planta
- Empleo de registros de reparación de equipos y calendario de mantenimiento
- 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.

#### *15.5.2.5 5.5.2.5 Registro de información.*

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.

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

#### *15.5.2.6 5.5.2.6 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:

- a) La importancia de las partes en la operación de la planta
- b) Disponibilidad
- c) El efecto en la operación si la partes es defectuosa
- d) 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.

### 15.5.3 5.5.3 Ejemplo de programa de mantenimiento.

A continuación se presenta, a manera de ejemplo, el calendario de mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del IMTA.

Programa de mantenimiento de julio a diciembre del 2004.

EQUIPO	LOCALIZACIÓN	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		No. BITÁCORA Y PÁGINAS	OBSERVACIONES Y/O BITÁCORA UTILIZADA
		P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R		
Cárcamo de bombeo (*)	Pretratamiento														Limpieza general y desazolve de lodo
Bomba sumergible (NABOHI) 1	Pretratamiento	2						2							Nueva. Garantía de un año, fecha de compra 26-12-01. Verificación diario
Bomba sumergible (NABOHI) 2	Pretratamiento	2						2							Nueva. Garantía de un año, fecha de compra 26-12-01. Verificación diario
Bomba sumergible (NABOHI) 3	Caseta de sopladores	2						2							Nueva. Garantía de un año, fecha de compra 26-12-01. Verificación diario
Bomba sumergible (NABOHI) 4	Caseta de sopladores	2						2							Nueva. Garantía de un año, fecha de compra 26-12-01
Bomba sumergible (NABOHI) 5	Caseta de sopladores	2						2							Nueva. Garantía de un año, fecha de compra 26-12-01
Bomba sumergible 1 (Goulds)	Tanque de regulación	2						2							Nueva. Garantía de un año, fecha de compra 26-07-01. Verificación diario
Bomba sumergible 2 (Goulds)	Tanque de regulación	2						2							Nueva. Garantía de un año, fecha de compra 26-07-01. Verificación diario



EQUIPO	LOCALIZACIÓN	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		No. BITÁCORA Y PÁGINAS	OBSERVACIONES Y/O BITÁCORA UTILIZADA
		P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R		
Agitador LIGHTNIN 1	Tanque de aeración 1					25									Cambio de aceite cada 12 meses y engrasado c/3 meses
Agitador LIGHTNIN 2	Tanque de aeración 1					25									Cambio de aceite cada 12 meses y engrasado c/3 meses
Agitador LIGHTNIN 3	Tanque de aeración 2					25									Cambio de aceite cada 12 meses y engrasado c/3 meses
Agitador LIGHTNIN 4	Tanque de aeración 2					25									Cambio de aceite cada 12 meses y engrasado c/3 meses
Agitador LIGHTNIN 5	Tanque de almacenamiento					25									Cambio de aceite cada 12 meses y engrasado c/3 meses
Sensor de flujo de aire (Rotámetro)	Reactor biológico	28				26				27					Limpieza
Bombas-1 de 1/2 HP	A un costado del Invernadero	10							10						Limpieza general, verificación de aceite, impulsor y carcaza
Bombas-2 de 1/2 HP	A un costado del Invernadero	10							10						Limpieza general, verificación de aceite, impulsor y carcaza
Bombas-3 de 1/2 HP	A un costado del Invernadero	10							10						Limpieza general, verificación de aceite, impulsor y carcaza
Bombas-4 de 1/2 HP	A un costado del Invernadero	10							10						Limpieza general, verificación de aceite, impulsor y carcaza
Bombas-5 de 1/2 HP	A un costado del Invernadero	10							10						Limpieza general, verificación de aceite, impulsor y carcaza
Tanque de regulación	Módulo de lodo activados														Limpieza y desazolve de lodo



EQUIPO	LOCALIZACIÓN	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		No. BITÁCORA Y PÁGINAS	OBSERVACIONES Y/O BITÁCORA UTILIZADA
		P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R		
Bomba sumergible 1 (Caprari)	Caseta de sopladores	28				26				27					Verificación de platos e impulsor, aceite y limpieza general
Bomba sumergible 2 (Caprari)	Caseta de sopladores	28				26				27					Verificación de plato e impulsor, aceite y limpieza general
Bomba sumergible 3 (Caprari)	Caseta de sopladores	28				26				27					Para mantenimiento correctivo (Embobinado, cambio de plato e impulsor, valeros y aceite)
Bomba sumergible 4 (Caprari)	Caseta de sopladores	28				26				27					Verificación de plato e impulsor, aceite y limpieza general
Bomba sumergible 5 (Caprari)	Caseta de sopladores	28				26				27					Verificación de plato e impulsor, aceite y limpieza general
Bomba centrífuga 1/4 HP	Alimentación de equipo de monitoreo en línea. (Sedimentación)					26							26		Limpieza general, lubricación, engrasado, verificación del impulsor y carcasa.
Bomba centrífuga 1/4 HP	Alimentación de equipo de monitoreo en línea (Tanque de aeración)					26							26		Limpieza general, lubricación, engrasado, verificación del impulsor y carcasa.
Soplador 1 (Anlet root)	Caseta de sopladores	30							30						Limpieza de filtro y general, lubricación, engrasado, verificación de: bandas, torque y presión de aire.
Soplador 2 (Anlet root)	Caseta de sopladores	30							30						Limpieza de filtro y general, lubricación, engrasado, verificación de: bandas, torque y presión de aire.



EQUIPO	LOCALIZACIÓN	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		No. BITÁCORA Y PÁGINAS	OBSERVACIONES Y/O BITÁCORA UTILIZADA
		P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R		
Soplador ( Thutill siemens)	Caseta de sopladores	30						30							Para mantenimiento correctivo (Impulsor Embobinado, cambio de plato e impulsor, valeros y aceite)
Compresor 1-300 psi (ITSA)	Caseta de compresores	7						7							Limpieza general, verificación de aceite, bandas, pistones y carcaza
Compresor 2-300 psi (ITSA)	Caseta de compresores	7						7							Limpieza general, verificación de aceite, bandas, pistones y carcaza
Equipo de medición de cloro residual (*)	Caseta de cloración														Limpieza y verificación del paso de cloro al equipo (FUERA DE SERVICIO)
Alarma de gas cloro (*)	Caseta de cloración														Limpieza y verificación con amoniaco líquido. (FUERA DE SERVICIO)
Cilindro de gas cloro (*)	Caseta de cloración														Registro del peso del gas cloro en kg y verificación de fugas (FUERA DE SERVICIO)
Dosificador de cloro (*)	Caseta de cloración														Limpieza y verificación interna de sus accesorios (FUERA DE SERVICIO)
Bomba 1 (Barnes)	Sistema terciario	14						14							Limpieza de disipadores de calor, bases y caseta
Bomba 2 (Barnes)	Sistema terciario	14						14							Limpieza de disipadores de calor, bases y caseta
Arrancador (Cutler Amerm)	Caseta del sistema terciario	14						14							Verificación de zapatas, cables, bobina y limpieza general
Rastra del sedimentador	Sedimentador secundario		21					21				21			Limpieza, lubricación y engrasado



EQUIPO	LOCALIZACIÓN	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		No. BITÁCORA Y PÁGINAS	OBSERVACIONES Y/O BITÁCORA UTILIZADA
		P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R		
CCM	Caseta de control														Mantenimiento anual
Hidroneumático	Sistema terciario	14						14							Limpieza y verificación presión
Bombas de recirculación de lodos	Reactor biológico														Mensualmente
Revisión de instalaciones															
Puertas de la planta y laboratorio	Planta y laboratorios				29							29			Revisión de instalaciones
Trabajos de albañilería	Planta y laboratorios		2							3					Revisión de instalaciones
Pintura de hidráulica	Planta y laboratorios														Revisión de instalaciones
Pintura eléctrica	Planta y laboratorios														Revisión de instalaciones
Gases	Planta y laboratorios														Revisión de instalaciones
Accesorios sanitario	Baño	25	25	25			24		25		22				Revisión de instalaciones
Extintores	Planta y laboratorios														
Revisión de lava ojos y regaderas	Laboratorios														Los días 1 y 15
Verificación de registros															
Eléctricos	Planta	11	12	12			13		12		12				
Agua	Planta	11	12	12			13		12		12				
Balance de cargas	Caseta de control														Cada vez que se instale un equipo

NOTAS: (\*)Esta fuera de servicio.

## **15.6 5.6 Higiene y seguridad.**

En EUA, la frecuencia de lesiones (incapacitación por lesiones por millón de horas-hombre trabajado) en empleados de plantas de tratamiento de aguas residuales es sustancialmente mayor que para trabajadores de otras industrias. En México ocurre algo similar, aunque no se tienen estadísticas relacionadas con plantas de tratamiento.

El riesgo a enfermedades, principalmente la hepatitis, siempre se ha relacionado con plantas de tratamiento de aguas residuales. Las lesiones y enfermedades llevan a padecimientos y pérdidas de los recursos humanos. Además se tiene un impacto negativo en la eficiencia de la planta, la moral de los empleados las relaciones públicas, y finalmente una incidencia en los costos.

La dirección efectiva de las plantas de tratamiento refleja la excelencia en operación, incluyendo aspectos de higiene y seguridad. La higiene y seguridad se deben iniciar y mantener para prevenir enfermedades y accidentes en la planta. Los directivos necesitan mostrar interés en el establecimiento de programas de control de accidentes, incluyendo prevención de emergencias y de enfermedades ocupacionales.

### **15.6.1 5.6.1 Programas.**

La mayor parte de los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento de aguas residuales contienen tres elementos:

- Políticas por escrito de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- 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:

- Realizar inspecciones
- Proporcionar y sugerir capacitación
- Conducir investigaciones de accidentes y lesiones
- 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:

- Peligros en las plantas de aguas residuales
- Higiene y salud industrial para el personal
- Equipos de protección, incluyendo protección respiratoria
- Manejo y almacenamiento de materiales
- Uso seguro de herramientas y equipos
- Protección y control de incendios
- Primeros auxilios, incluyendo respiración artificial
- Mantenimiento industrial
- Reporte de accidentes y enfermedades
- Investigación de accidentes y enfermedades
- Seguridad en instalaciones eléctricas
- Procedimientos de entrada a espacios confinados y rescate
- Planeación de emergencias

### **15.6.2 5.6.2 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:

- Hepatitis A infecciosa
- Infecciones virales

- Infestación de parásitos
- Enfermedades gastrointestinales
- 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.

- Mantener manos y dedos lejos de la nariz, boca, ojos y oídos.
- 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.
- 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.
- Lavarse las manos con jabón, preferentemente con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos.
- Mantener las uñas cortas y remover los materiales extraños que se introduzcan en las mismas.
- Se recomienda el uso de dos gavetas por trabajador; una para guardar ropa de calle y limpia y para la ropa de trabajo.
- Informar cualquier lesión por pequeña que sea incluyendo raspones para que se apliquen los primeros auxilios.
- Bañarse al finalizar su turno de trabajo.

Para asegurar la máxima protección a la salud, los empleados deben recibir vacunación contra:

- Hepatitis A
- Hepatitis B
- Influenza
- Sarampión
- Paperas
- Neumonía
- Rubeola
- Tétanos y difteria

### **15.6.3 5.6.3 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:

- Uso de equipos de protección.
- Procedimientos adecuados en el mantenimiento y almacenamiento de sustancias peligrosas.
- Uso de aspiradoras y equipos de limpieza para el área de almacenamiento y lugares de trabajo.
- Áreas prohibidas para fumar en lugares donde se manejen sustancias inflamables y explosivas.
- Separación de áreas de baños y comedores, de áreas de almacenamiento.
- Uso de etiquetas en los recipientes que incluyan información de su manejo, y primeros auxilios.
- Colocación de señales de precaución y alerta para los trabajadores.
- Carteles con instrucciones de emergencia en lugares críticos.
- Acciones para emergencias, como incendios, derrames y fugas, acompañadas de instrucciones para primeros auxilios.
- Capacitación para uso y manejo de sustancias peligrosas.

#### **15.6.4 5.6.4 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:

- Deficiencia de oxígeno en la atmósfera
- Atmósfera inflamable
- Atmósfera tóxica
- Temperaturas extremas
- Derrumbe de materiales
- Ruidos amplificados
- Resbalones por pisos húmedos
- Caída de objetos

Las precauciones que se deben observar en estos espacios incluyen:

- Pruebas y monitoreo de los gases en la atmósfera del espacio confinado

- Ventilación continua general o local con ventiladores manuales
- Equipos de protección personal, principalmente para respiración
- Señales y etiquetas de precaución y de peligro
- Capacitación del personal que trabaja en espacios confinados
- Revisión médica periódica
- Autorizaciones para entrar a espacios confinados
- Aislamiento de espacios confinados
- Personal capacitado en diferentes partes de la planta
- Procedimientos por escrito para trabajar, y poder realizar actividades de rescate
- Equipos de respiración disponibles

### **15.6.5 5.6.5 Medidas de protección.**

Deben ser consideradas desde el diseño de las instalaciones; en forma resumida las más importantes son:

- Cercado de la planta de tratamiento o de unidades donde el público no debe tener acceso.
- Facilidades de estacionamiento y andadores que lleven a las oficinas de la planta.
- Áreas de almacenamiento fuera del alcance de personal extraño.
- Iluminación adecuada al trabajo que se desarrolle.
- Ventilación para prevenir ambientes explosivos.
- Protección contra incendios tanto de oficinas como de almacenes, sala de sopladores, sala de cloración, etc.
- Agua potable suficiente para las actividades normales de la planta, incluyendo abastecimiento a laboratorios, baños, regaderas, etc.
- Cercas de protección y señales de alerta en instalaciones eléctricas.
- Implantación de medidas de seguridad en el laboratorio.
- Se hará mención de algunas actividades que se consideran peligrosas, para las cuales deben seguirse procedimientos establecidos para que puedan llevarse a cabo:
- Trabajos bajo la superficie, en alcantarillados, registros, estaciones de bombeo, desarenadores, túneles, trincheras, tanques, etc.
- Levantar objetos que por su forma, tamaño, peso, etc, pueden causar lesiones en la espalda, o accidentes.
- Uso de escaleras; las caídas en ellas son una de las principales causas de lesiones.
- Trabajos en áreas de producción y manejo de instalaciones de gas.

### **15.7 5.7 Manejo de lodos residuales.**

### **15.7.1 5.7.1 Introducción.**

Los lodos residuales son el subproducto del tratamiento de las aguas residuales. Tradicionalmente estos lodos, muchas veces sin tratamiento, se han descargado al drenaje municipal, a las corrientes superficiales, almacenados a cielo abierto, y en rellenos sanitarios, provocando contaminación por sus altos contenidos de materia orgánica, patógenos, metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos.

En México se requiere de tecnología para la disposición y aprovechamiento de los lodos, en cuyo desarrollo y adaptación estén considerados los siguientes aspectos: bajo costo de inversión, operación y mantenimiento; reducción del impacto al ambiente; eficiencia en la reducción de contaminantes, y aprovechamiento de 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.

### **15.7.2 5.7.2 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 el tratamiento del agua residual y el lodo. Diferentes procesos de tratamiento generan diferentes tipos y volúmenes de lodo. En una planta de tratamiento 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 una gran cantidad de 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 5.13 y figura 5.56.

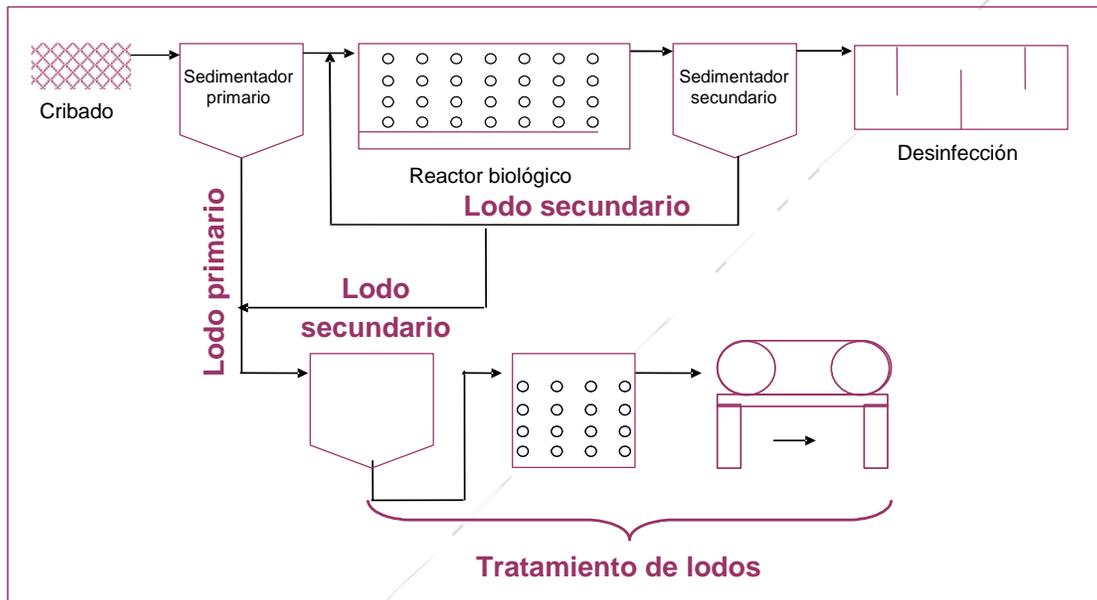


Fig. 5.56 Tipos de lodo residual.

Tabla 5.13 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 (lodos activados, biofiltros y biodiscos)	0.5 – 2	Constituido principalmente por biomasa. Es difícil de deshidratar

Lodo terciario o de tratamiento químico	Sistemas avanzados Coagulación–floculación, filtración, precipitación química	Variable, hasta 50%	Variabes, dependen del proceso de tratamiento aplicado
---	---	---------------------	--

### 15.7.2.1 5.7.2.1 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 5.14.

El color de los lodos varía entre el pardo y el gris, y su olor es a menudo desagradable puesto que se trata de productos fácilmente fermentables y existe un inicio de descomposición.

Tabla 5.14 Características físicas del lodo.

Parámetro	Definición	Determinación
Gravedad Específica	Relación de peso del material con respecto a un volumen igual de agua	$\frac{I}{S_s} = \sum_{n=1}^x \left( \frac{W_i}{S_i} \right)$ <p> <math>S_s</math> = Gravedad específica del lodo  <math>W_i</math> = Fracción de peso del <i>iésimo</i> componente del lodo.  <math>S_i</math> = Gravedad específica del <i>iésimo</i> componente. </p>
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 ha secado previamente a 103°C para determinar ST Norma Mexicana NMX-AA-034
Sólidos Totales Fijos	Representa el material remanente o cenizas después de determinar los SV	Se determina por diferencia de peso

(STF)		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 µm. Estos sólidos también se clasifican en SSV y SSF, cuando los SST se queman a 550°C	Secado de muestra remanente en el filtro a 103 - 105 °C  Norma Mexicana NMX-AA-034
Sólidos Sedimentables	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 seg <sup>2</sup> /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

El agua contenida en un lodo puede considerarse que se encuentra en cuatro diferentes formas:

- Agua particulada o interna: que es el agua que se encuentra enlazada químicamente en cada una de las partículas.
- Agua capilar: que se adhiere a cada una de las partículas y que puede ser eliminada si el lodo es compactado. (2%)
- Agua de flóculo o de adhesión: que es englobada dentro de los flóculos. Puede removerse por medios mecánicos. (20%)
- Agua libre o intersticial: que no está adherida a los sólidos que componen al lodo y que se elimina por sedimentación. (74%)

Esta clasificación se hizo efectuando experimentos para lodos activados, utilizando técnicas de centrifugación. El agua libre fue determinada por una prueba de sedimentación, obteniéndose un porcentaje aproximado de 74%. El agua de flóculo 20% y el agua capilar 2%.

#### 15.7.2.2 5.7.2.2 Características químicas.

Las características químicas de un lodo pueden dividirse según el tipo de parámetro analizado en inorgánicas y orgánicas.

Parámetros inorgánicos.

Los compuestos inorgánicos incluyen todas aquellas combinaciones de elementos que no incluyen carbono orgánico. Los constituyentes inorgánicos incluyen básicamente arena, arcilla y materia mineral en suspensión, metales y algunos otros elementos.

Contenido de metales pesados.

La disposición no controlada del lodo, en basureros, rellenos sanitarios, o en cuerpos de agua, produce un impacto ambiental negativo, ya que, los metales pesados penetran la cadena alimenticia. Su presencia en grandes cantidades, en el suelo, causa fitotoxicidad por metales tales como Zn, Cu o Ni, o absorción y acumulación de Cd, en tejidos animales y vegetales.

Contenido de nutrimentos.

Es de interés el utilizar el lodo como un mejorador de suelo, por lo que es muy importante conocer el contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio para determinar su valor como fertilizantes. Las concentraciones típicas de estos elementos en lodos se muestran en la tabla 5.15. El % de estos en el lodo, así como la fracción orgánica, es indicativo de su valor como fertilizante. Sin embargo la aplicación del lodo al suelo debe controlarse. Una aplicación no controlada de lodo en el suelo provoca un exceso de nitratos que son percolados con los lixiviados al acuífero. Al hombre le afecta cuando ingiere agua con exceso de estos compuestos. Los nitratos se acumulan en los tejidos vegetales, principalmente en las hojas lo que provoca problemas en los animales que se alimentan con ellas.

Tabla 5.15 Concentraciones típicas de nutrimentos en fertilizantes comerciales y lodos estabilizados.

Producto	Nutrientes (%)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Fertilizantes comerciales	5	10	10
Lodos biológicos estabilizados	3.3	2.3	0.3

Los problemas potenciales que se presenta cuando se usa éste desecho son: exceso de sales y alta cantidad de sodio. El primero reduce la germinación de las plantas y su crecimiento. El segundo causa la dispersión de las partículas del suelo, lo que provoca un empobrecimiento en su estructura y reduce los porcentajes de infiltración de agua. Desde el punto de vista de salud humana un exceso de nitratos o sodio puede provocar disfunciones cardiovasculares, hematológicas y neurológicas (PAHO, WHO y EHP, 1989).

#### Parámetros orgánicos.

Los compuestos orgánicos son aquellos que contienen el elemento carbono en combinación con uno o más diferentes elementos. La materia orgánica en los lodos es generalmente de origen animal o vegetal, así como de microorganismos y sus productos de desecho. Se encuentran presentes también en fibras de origen vegetal, grasas, aceites, almidones, ligninas, etc.

#### Contenido de materia orgánica.

El contenido de materia orgánica en un lodo usualmente se expresa utilizando los siguientes parámetros: (ver capítulo 1)

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Carbono orgánico total (COT)

#### Contenido de tóxicos orgánicos.

Muchos estudios han mostrado la presencia de compuestos tóxicos en el lodo. El peligro potencial de estos compuestos es debido a que son poco solubles en agua; no se degradan fácilmente en el suelo; tienen una alta afinidad por los lípidos, por lo tanto se pueden acumular en los tejidos. Todos estos compuestos además de acumulables pueden pasar a través de la cadena alimenticia. Son altamente tóxicos a los mamíferos, muchos de ellos son carcinogénicos. Además la degradación natural de estos compuestos, el mismo tratamiento de agua o lodo provoca el desarrollo de nuevos compuestos o metabolitos muchas veces más tóxicos que el compuesto original. Existen dos grupos de compuestos altamente tóxicos, los pesticidas organohalogenados y los hidrocarburos aromáticos polinucleares. La aplicación de lodos al suelo con presencia de estos contaminantes puede acarrear graves problemas a la salud y al medio ambiente.

### 15.7.2.3 5.7.2.3 Características microbiológicas.

Las aguas residuales contienen una flora y una fauna variadas 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 son:

*Bacterias:* las bacterias que se encuentran en los lodos pueden dividirse en cuatro clases: aerobias estrictas, aerobias facultativas, anaerobias facultativas y anaerobias estrictas. Su presencia depende del sistema de tratamiento utilizado y de los componentes del agua residual.

*Hongos:* se trata esencialmente de las levaduras y los mohos que están normalmente presentes en el aire; por lo general, no son patógenos para los animales o el hombre, con excepción de algunos que pueden llegar a serlo cuando las condiciones son favorables.

*Algas:* no se encuentran en gran cantidad en los lodos primarios y secundarios; pero en los sistemas de tratamiento lagunares, gran parte de los lodos están constituidos por detritus de algas.

*Macrofauna:* también puede estar presente en los lodos la macrofauna formada por gusanos, larvas de insectos, crustáceos, etc.

*Microorganismos patógenos:* los microorganismos patógenos se encuentran generalmente en los lodos y en los efluentes; por lo tanto, es preciso tener cuidado de eliminarlos en ambos casos. Los principales patógenos encontrados en lodos residuales pueden ser divididos en cuatro grupos: bacterias, protozoos, helmintos y virus. Los procesos de tratamiento reducen el número de los microorganismos mencionados, pero no en su totalidad. Las concentraciones de éstos varían en el orden de  $10^5$  a  $10^{10}$  NMP/100mL. La mayoría de ellos son formas unicelulares independientes capaces de llevar a cabo en forma individual sus procesos de crecimiento, metabolismo y reproducción.

En los lodos existe una concentración elevada de microorganismos patógenos que preocupan si los lodos no son estabilizados correctamente y cuando se intenta dar un posterior uso al lodo, por ejemplo, como mejorador de suelo, donde existe un riesgo de exposición de los humanos o animales a los microorganismos patógenos que contienen estos lodos. No solamente existen bacterias, sino también levaduras, hongos, protozoarios, crustáceo, parásitos, virus, etc. Como microorganismos indicadores de contaminación biológica se consideran los coliformes totales y fecales.

Los niveles de densidad de microorganismos indicadores (coliformes totales y coliformes fecales) en lodos primarios, secundarios y mezclados se presentan en la tabla 5.16

Tabla 5.16 Niveles de organismos indicadores (coliformes totales y coliformes fecales) en lodos primarios, secundarios y mezclados.

Tipos de lodo	Coliformes totales (NMP/100ml)	Coliformes fecales (NMP/100ml)
Primarios	$1.2 \times 10^8$	$2.0 \times 10^7$
Secundarios	$7.0 \times 10^8$	$8.3 \times 10^6$
Mezclados	$1.1. \times 10^9$	$1.1. \times 10^5$

FUENTE: Lue Hing (1992)

Bacterias patógenas.

Dos bacterias son las de mayor importancia sanitaria en los lodos, las especies de *Salmonella* y la bacteria patógena oportunista *Pseudomona aeruginosa*. Estas se encuentran presentes en los lodos primarios en menores concentraciones que las bacterias indicadoras. Los valores promedio de *Salmonella* y *Pseudomona aeruginosa* son de  $4.1 \times 10^2$  y  $2.8 \times 10^3$  por gramo de sólido seco, respectivamente.

Protozoarios y parásitos.

La identificación de protozoarios y parásitos en los lodos reviste gran importancia, ya que se sabe que en México una de las primeras causas de mortalidad y morbilidad es debida a enfermedades causadas por este

tipo de organismos. Aproximadamente el 26 % de la población está afectada por *Ascariasis*, el 19.2 % por *Uncinariasis*, el 19 % por *Giardiasis* y el 16 % por *Amibiasis* (Tay, 1976).

De acuerdo a las características que se describieron anteriormente se observa que el lodo tiene características benéficas y también contiene contaminantes que en elevadas concentraciones causa efectos a la salud, los cultivos agrícolas y el suelo. La tabla 5.17 presenta las características contaminantes de un lodo residual sin tratamiento.

Tabla 5.17 Características contaminantes de los lodos residuales.

Características	Concentración
Poca estabilidad	Reducción de STV, menor de 38%
Conductividad eléctrica	2.96 – 12 mS/cm
Alta concentración de microorganismos indicadores y parásitos	Coliformes fecales ( $10^5$ - $10^7$ NMP/g) Huevos de helmino ( 0.83 – 3.83 HH/g)
Metales pesados	Cd 11- 54 ppm, Pb 42-3,375 ppm)

### 15.7.3 5.7.3 Normatividad sobre lodos residuales.

Para seleccionar los métodos más apropiados para el tratamiento, reúso y disposición de lodos se debe contar con una normatividad que controle el uso y disposición de estos residuos. En México las principales normas vigentes relativas al manejo de lodos residuales son:

- Nom-052-SEMARNAT -2005.
- Nom-004-SEMARNAT-2002

La NOM-052-SEMARNAT- 2005, comprende las pruebas CRETIB que ayudan a definir si un residuo es peligroso o no. Los encargados del manejo de los lodos tienen que demostrar que éstos no presentan ninguna de estas características.

- Corrosividad.
- Reactividad.
- Explosividad.

- Toxicidad.
- Inflamabilidad.
- Biológico infeccioso.

La NOM-004-SEMARNAT-2002 trata sobre lodos y biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Los generadores de biosólidos deben controlar la atracción de vectores, lo cual se logra con una reducción de sólidos volátiles por lo menos de 38%, demostrando su efectividad para lo cual se menciona en el Anexo I de dicha norma varias alternativas de tratamiento para alcanzar este propósito.

También se establecen en esta norma los límites máximos permisibles de metales pesados, patógenos y parásitos como se muestra en las tablas 5.18 y 5.19.

Tabla 5.18 Límites máximos permisibles para metales en biosólidos.

Contaminantes (determinados en forma total)	Excelente mg/kg de lodo en base seca	Bueno mg/kg de lodo 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 5.19 Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes Fecales NMP/g en B.S.	Salmonella spp NMP/g B.S.	Huevos de Helminto/g B.S.

A	< 1,000	< 3	< 1 (a)
B	< 1,000	< 3	< de 10
C	< 2'000,000	< 300	< de 35

En esta misma norma se establecen los criterios para el aprovechamiento de los biosólidos en función del tipo y clase del lodo residual, como se puede observar en la tabla 5.20.

Tabla 5.20 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 la Clase C.
Excelente o bueno	C	Usos forestales. Mejoramiento de suelos. Usos agrícolas.

Tratamientos para obtener lodos Clase A, B y C.

Los tratamientos para obtener lodos de diferentes clases de acuerdo a su contenido microbiológico se presentan en la figura 10.2.

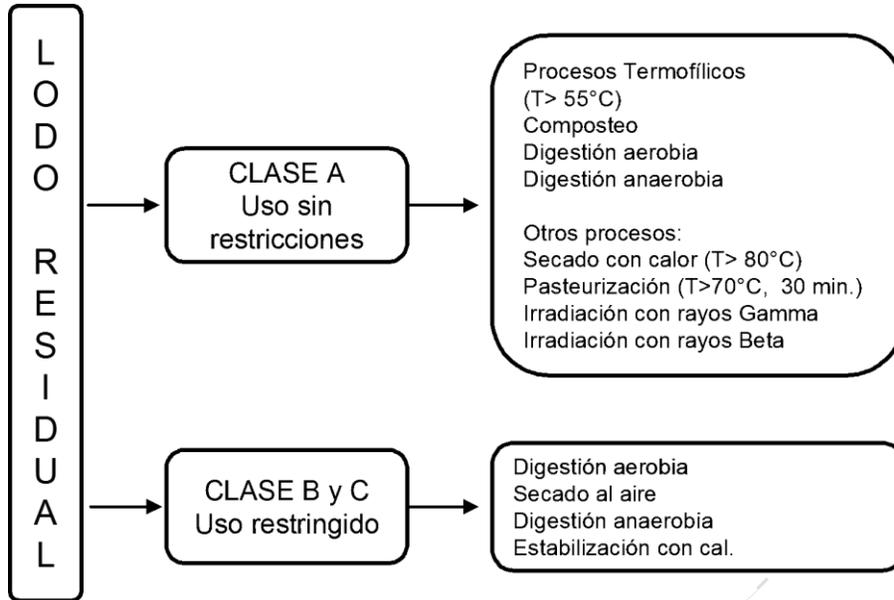


Fig. 5.57 Tratamientos para obtener lodos Clase A, B y C.

#### 15.7.4 5.7.4 Tratamiento de lodos residuales.

Los procedimientos para tratar los lodos varían según la fuente y el tipo de aguas residuales de las que se derivan, del proceso utilizado para tratar las aguas residuales y del método último de disposición a la que se destinan los lodos.

Para algunos lodos, generalmente de origen industrial, la selección de un tratamiento óptimo y 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 químicos 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 10.9 es una matriz de selección de tecnología que puede orientar, en forma preliminar, la selección de la tecnología apropiada.

Tabla 5.21 Alternativas tecnológicas.

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 and Eckenfelder, Jr. (1990)

Estas son alternativas tecnológicas comúnmente utilizadas para formar trenes de tratamiento para el tratamiento y disposición de lodos residuales.

#### 15.7.4.1 5.7.4.1 *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 filtros de banda por gravedad. Para la deshidratación se utilizan equipos que utilizan presión o vacío y que permiten incrementar la concentración de sólidos en el lodo.

La reducción del volumen del lodo resulta benéfica para los procesos de tratamiento subsiguientes 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 necesarios.
- Reduce la cantidad de reactivos químicos necesarios para el acondicionamiento del lodo.
- Disminuye la cantidad de calor necesario para los digestores y el combustible auxiliar requerido para el secado o incineración, o para ambos.

Los métodos más comunes de espesamiento (Fig. 5.59) y deshidratación de lodos son:

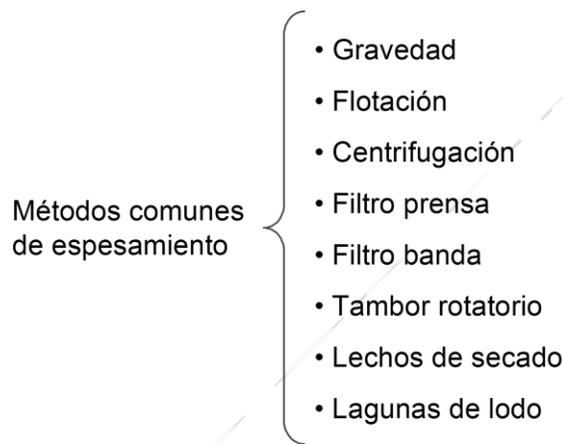


Fig. 5.59 Métodos de espesamiento y deshidratación para lodos residuales.

En la tabla 5.22 se presenta la reducción del volumen del lodo que es posible alcanzar mediante la aplicación de diferentes procesos de tratamientos físicos para la remoción del agua.

Tabla 5.22 Reducción del volumen del 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, campos de gravedad reforzados artificialmente	60-85



Reducción del volumen del lodo, %	Proceso	Fuerzas físicas aplicadas	Contenido de agua en el lodo espesado, %
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

Espesamiento por gravedad.



Fig. 5.60 Espesador por gravedad.

Espesamiento por flotación con aire disuelto.

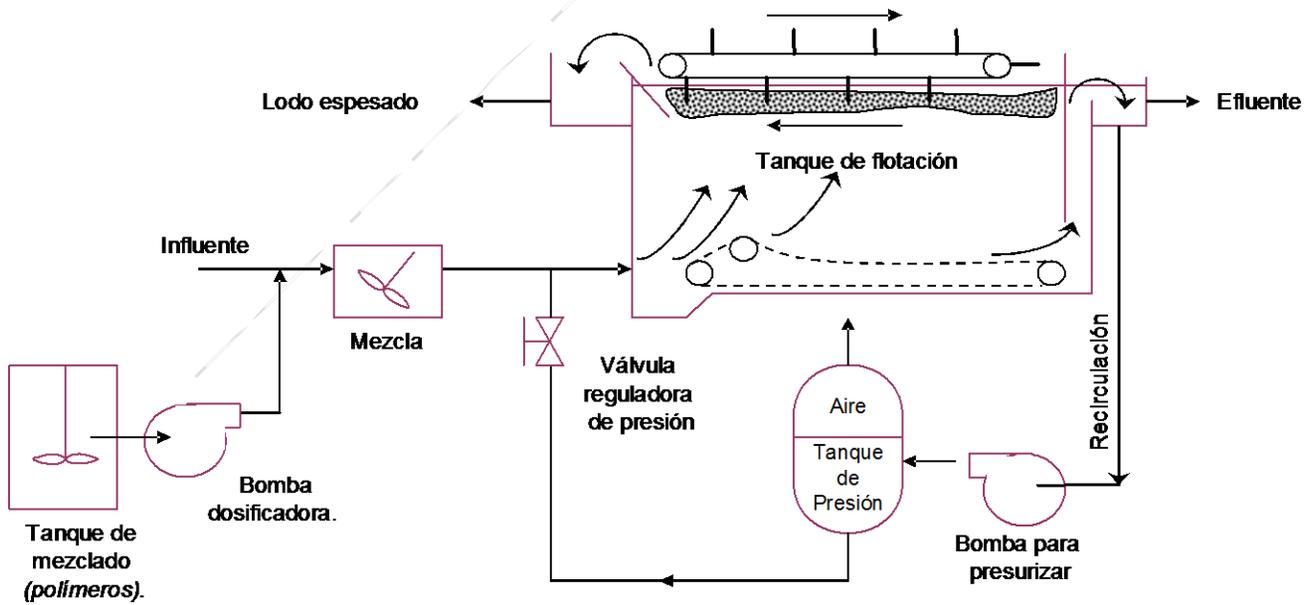


Fig. 5.61 Diagrama de un espesador por aire disuelto



Espesamiento y deshidratación por medio de centrifugas.

Centrifugas de tazones.

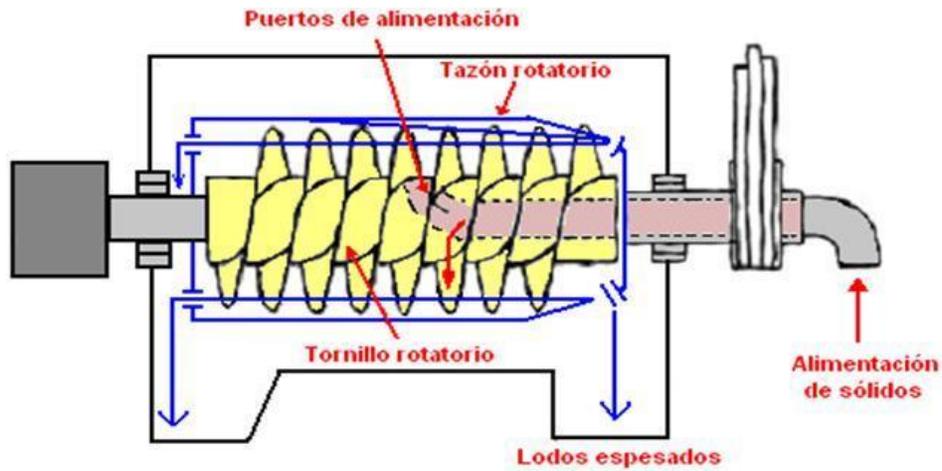


Figura 5.62 Centrifuga de tazones

Centrifugas de canasta.



Fig. 5.63 Centrifuga de canasta.

Espesamiento y deshidratación por filtros prensa.



Fig. 5.64 Filtro prensa.

Espesamiento y deshidratación en filtro banda.



Fig. 5.65 Espesadores y filtros banda.

Deshidratación en filtro de vacío por tambores rotatorios.



Fig. 5.66 Filtro rotatorio.



Fig. 5.67 Diagrama explicativo y vista de un espesador o filtro de tambor rotatorio (Parkson Corporation).

Lechos de secado para deshidratación.

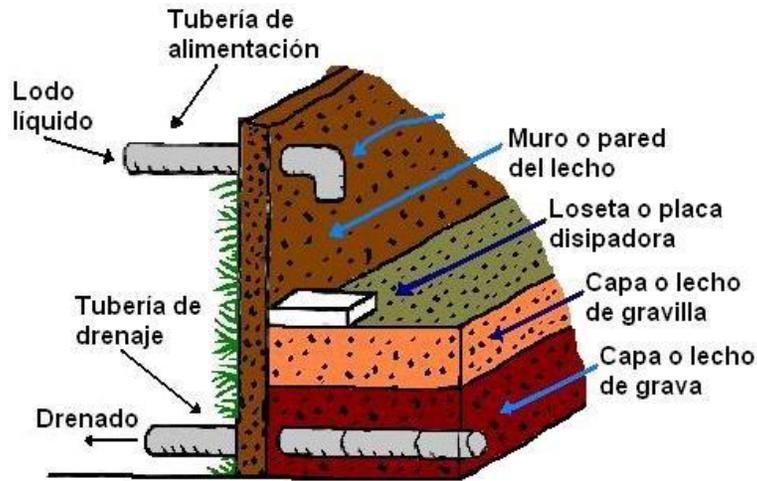


Fig. 5.68 Corte de un lecho de secado.

Lagunas para la disposición de lodo líquido.

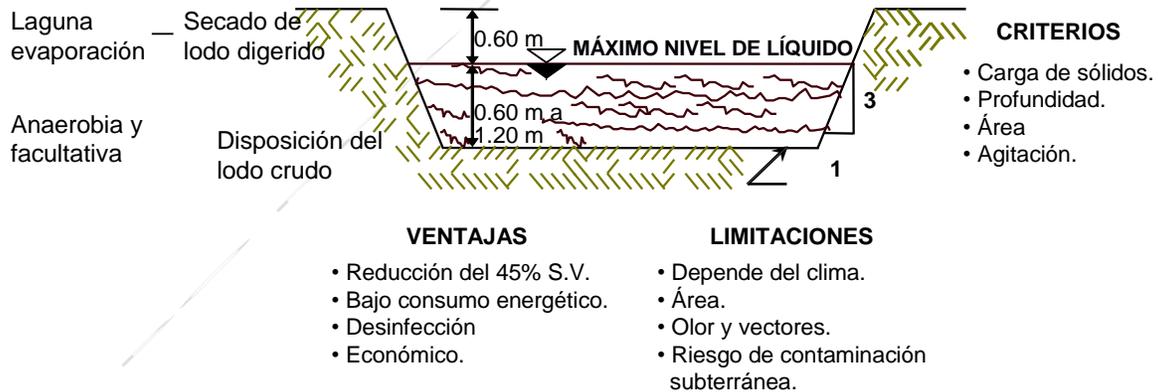


Fig. 5.69 Lagunas para lodos residuales

15.7.4.2 5.7.4.2 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 lo más comunes los de digestión como se muestra en la tabla 5.23. 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 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, considerando lo que significan las condiciones dañinas o indeseables creadas por un lodo se han propuesto los siguientes parámetros para definir la estabilidad de un lodo (Vesilind, 1988).

- Producción de olor
- Toxicidad
- Reducción de sólidos suspendidos volátiles
- Reducción de patógenos

Tabla 5.23 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	Sin calentamiento
	Aeróbica oxidativa	Autotérmica (45-70°C) Con aire Con oxígeno
	Proceso dual	digestión autotérmica oxidativa, seguida por digestión anaerobia
	Composteo con o sin agentes aglutinantes o material reciclado	Pila estática aerada Reactor Camellón
Química	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.

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% (lodos estabilizados). 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 productoras de ácidos degradan la materia orgánica a ácidos volátiles.

- b) Metanogénesis: las bacterias formadoras de metano convierten los ácidos a metano y dióxido de carbono.

Clasificación de los digestores anaerobios.

Los digestores anaerobios son de dos tipos:

- De baja tasa (Fig. 5.70).
- De alta tasa (Fig. 5.71).

El digestor consiste en un tanque cilíndrico con una pendiente hacia el fondo y bóveda techada.

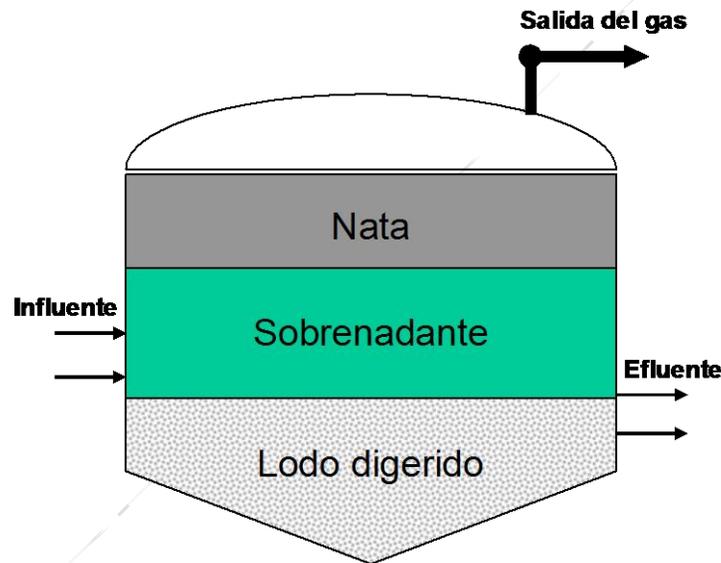


Fig. 5.70 Digestor de baja tasa.

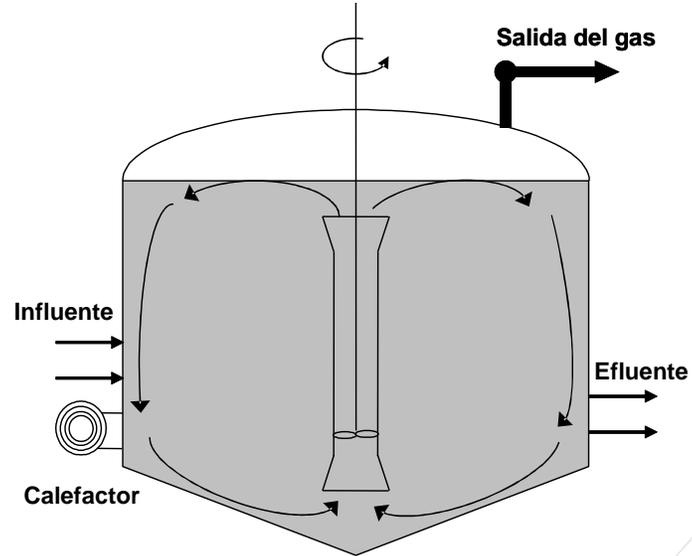


Fig. 5.71 Digestor anaerobio de alta tasa.

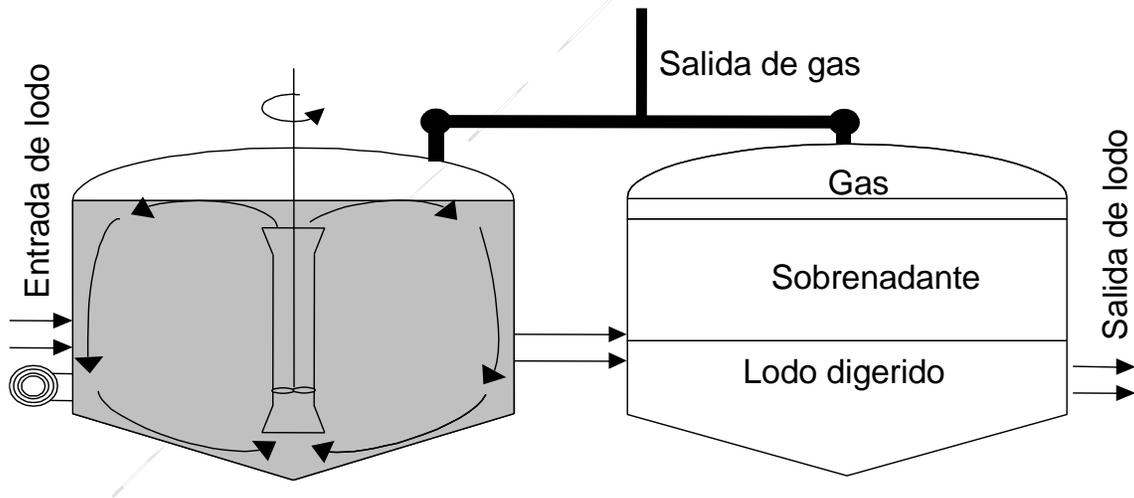


Fig. 5.72 Digestión en dos etapas.

Digestión aerobia

Está basada 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.

### **Proceso de digestión aerobia.**

- a) El tejido de la célula es oxidado 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.**

- Digestión aerobia convencional
- Digestión aerobia por oxígeno puro
- 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. En la figura 5.73 un digester aerobio convencional, en la figura 5.74 un digester con aeración por medio de difusores.



Fig. 5.73 Digester aerobio convencional.



Fig. 5.74 Digester aerobio de lodos con discos difusores.

## Digestión Alcalina.

El tratamiento de los lodos de aguas residuales con productos químicos, como el cloro y la cal, son efectivos para la estabilización. Inicialmente la cal se utilizó 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.*

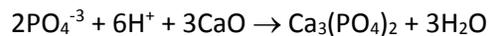
La teoría del proceso de estabilización con cal es simple. La cal se adiciona al lodo para elevar el pH, y requiere un tiempo de contacto específico. A un pH superior a 12 y con suficiente tiempo de contacto, los patógenos y microorganismos pueden ser inactivados o destruidos. Las características físicas 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

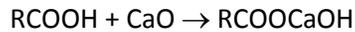


##### Dióxido de carbono

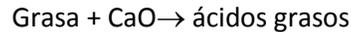


#### Reacciones con constituyentes orgánicos

### 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:

- 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.
- 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.

La estabilización con cal consiste en la aplicación de la cal para elevar el pH, con un tiempo de contacto específico. Se cree que con el efecto de la elevación del pH a 12 y con suficiente tiempo de contacto, los patógenos y microorganismos pueden ser inactivados o destruidos. En la figura 5.75, se muestran los métodos de estabilización alcalina que son usados: pre-estabilización y post-estabilización con cal.

Métodos de  
estabilización  
con cal

- Pre-estabilización con cal (aplicación de cal antes de la deshidratación del lodo)
- Post-estabilización con cal (aplicación de cal cuando los lodos han sido deshidratados)

Fig. 5.75 Métodos de estabilización alcalina.

### Pre-estabilización con cal.

Para la estabilización con cal se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Agregar suficiente cal para elevar el pH a 12.
- pH 12 por 2 horas.
- Alcalinidad residual, pH 11.5 por 22 días.

En las figuras 5.76 y 5.77 se presentan un sistema de encalado de lodos a escala real.



Fig. 5.76 Dosificación de cal para espesar el lodo.



Fig. 5.77 Tanques de encalado.

#### Composteo.

El composteo es un proceso biológico para la estabilización de los lodos por medio del cual se realiza una degradación aerobia que es realizada por bacterias y hongos a una temperatura termofílica en una mezcla de lodo deshidratado y material acondicionador. Este proceso provee una destrucción significativa de patógenos con temperatura de 40°C durante cinco días consecutivos o también puede alcanzar una destrucción adicional de patógenos con una temperatura de 55°C durante tres días consecutivos de acuerdo a lo establecido en la norma 503 de la EPA (Apéndice B de la norma), 1993. El resultado del proceso de composteo es un sustrato que puede ser utilizado como fertilizante o acondicionador de suelo.

#### *Proceso de composteo.*

El composteo de lodos residuales consiste en mezclar el lodo residual con un material acondicionador, el cual puede ser cualquier desecho orgánico (basura de jardín, desechos orgánicos agroindustriales, pedacería de madera, etc.). Para que el proceso sea adecuado se deben mantener los factores determinantes del proceso que son:

- Temperatura entre 45 a 60°C.
- Condiciones aerobias mediante ventilación forzada o volteos mecánicos
- Humedad entre 50 y 60%.

### *Etapas del composteo*

El proceso de composteo (Fig. 5.78 y 5.79) consta básicamente de las siguientes etapas: preparación de materiales acondicionadores, mezclado, estabilización termofílica y curado o estabilización final; además existen dos etapas opcionales que son el secado y el cribado.

*Preparación de material acondicionador*

*Mezclado Montaje de las pilas*

*Etapas termofílica*

*Curado o estabilización final*

*Secado y cribado*

*Equipos y materiales para el composteo*

*Aeración*

*Aeración forzada*

*Aeración por volteo*

*Áreas de un sistema de composteo*

*Calidad de la composta*



Fig. 5.78 Montaje de pila de composteo.



Fig. 5.79 Ventiladores centrífugos.

### **Vermicomposteo.**

El vermicomposteo se define como la digestión de material orgánico por medio de lombrices (Fig. 5.80).

Además de la digestión de materia orgánica por medio de ingestión, 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.

El vermicomposteo es una tecnología basada en la cría intensiva de lombrices para la producción de humus a partir de un sustrato orgánico. 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.



Fig. 5.80 Grupo de lombrices alimentadas con lodo residual.



## 16.1 6.1 Introducción.

### 16.1.1 6.1.1. Antecedentes históricos.

El paso de aguas negras a través de medios porosos tiene sus antecedentes en la Estación Experimental Lawrence en Massachusetts en las vegas del Rio Merrimac entre 1887 y 1890. Se utilizan diez tanques circulares de madera de ciprés de 5.2 m de diámetro y 1.8 m de altura llenos de varios materiales, arena, grava, turba, aluvión del río, marga, tierra vegetal y arcilla. Los resultados de las pruebas mostraron que cuando se pasa aguas negras a través de un medio, la purificación de las aguas ocurre principalmente por oxidación biológica más que por el efecto mecánico de cribado o filtrado.

En 1893, Joseph Corbett en Salford, Inglaterra, tomando como base los resultados de Lawrence, construyó el primer filtro rociador, aplicando agua rociada sobre el medio en lugar de contenerla en el filtro.

El primer filtro rociador en los Estados Unidos fue construido en Madison, Wisconsin en 1901 con carácter experimental y la primera planta municipal que utilizó este procedimiento fue puesta en operación en 1908 en Columbus, Ohio.

Hasta 1930 se utilizó el primer distribuidor rotatorio. En 1936, la recirculación fue empleada por primera vez en varias plantas de tratamiento.

La primera ecuación de cinética biológica para predecir el funcionamiento de los filtros biológicos fue desarrollada en 1940. En 1950 fueron utilizados por primera vez los medios plásticos.

El uso de los filtros biológicos decreció en la década de los sesentas y principio de los setentas, debido a la necesidad de producir mejores efluentes, la que se logra con las plantas de lodos activados. Sin embargo al

final de los setentas, el creciente costo de la energía y avances en el diseño de filtros, como la mayor altura del filtro y aplicación de cargas más altas, debidas al mejoramiento de medios sintéticos, causó un renovado interés por el uso de los filtros rociadores, incrementado actualmente por el creciente empleo de las plantas duales o combinados que producen efluentes de muy alta calidad acordes con las mayores exigencias que los organismos responsables del control de la contaminación están fijando para los efluentes de las plantas de tratamiento.

### **16.1.2 6.1.2 Clasificación de los filtros rociadores:**

Los filtros rociadores se clasifican por su carga hidráulica o por su carga orgánica en:

- Baja carga (Estándar).
- Carga intermedia.
- Alta carga.
- Super alta carga.
- De desbaste.

Por su número:

- Una sola etapa.
- Dos etapas (dos filtros conectados en serie).

La carga hidráulica se define como el gasto aplicado por unidad de superficie. Las unidades usuales en el sistema decimal son  $m^3$  aplicados por  $m^2$  por día ( $m^3/m^2 \times \text{día}$ ).

La carga orgánica se define como el peso de la materia orgánica biodegradable, medida como la DBO a 5 días y  $20^\circ C$ , aplicada por unidad de volumen de medio filtrante por día.

Las unidades usuales en el sistema decimal son  $kg$  de  $DBO_5$  aplicados por  $m^3$  por día. ( $kg\ DBO_5/m^3 \times \text{día}$ ).

### 16.1.2.1 6.1.2.1 Descripción de los diversos tipos de filtros.

#### 6.1.2.1.1 Filtros de baja carga.

Los filtros de baja carga son de diseño simple con funcionamiento confiable, que producen un efluente de calidad consistente, a pesar de que el influente tenga concentración variable. Pueden ser circulares o cuadrados.

Normalmente no requieren recirculación; pero si el gasto nocturno es muy bajo, puede utilizarse recirculación para mantener húmedo el medio filtrante. El máximo periodo aconsejable para que el medio quede sin rociar es de 2 hrs, para evitar deterioro del cultivo biológico.

En la mayoría de este tipo de filtros, únicamente la parte superior del filtro (0.6 a 1.20 m) tiene un crecimiento abundante de cultivo biológico, quedando la parte inferior poblada de bacterias nitrificantes. Esta combinación de cultivos en un filtro bien operado, en condiciones climáticas favorables, logra la producción de un efluente con baja DBO<sub>5</sub> bien nitrificado.

Los problemas que se presentan en estos filtros es la presencia de olores que se acentúa con influentes sépticos, clima caluroso y la presencia de moscas que pueden proliferar a menos que se apliquen medidas de control.

#### 6.1.2.1.2 Filtros intermedios y de alta carga.

En estos filtros la recirculación del influente del filtro permite la aplicación de altas cargas orgánicas.

En la Fig. 6.1 y 6.2 se muestran diversos diagramas de flujo.

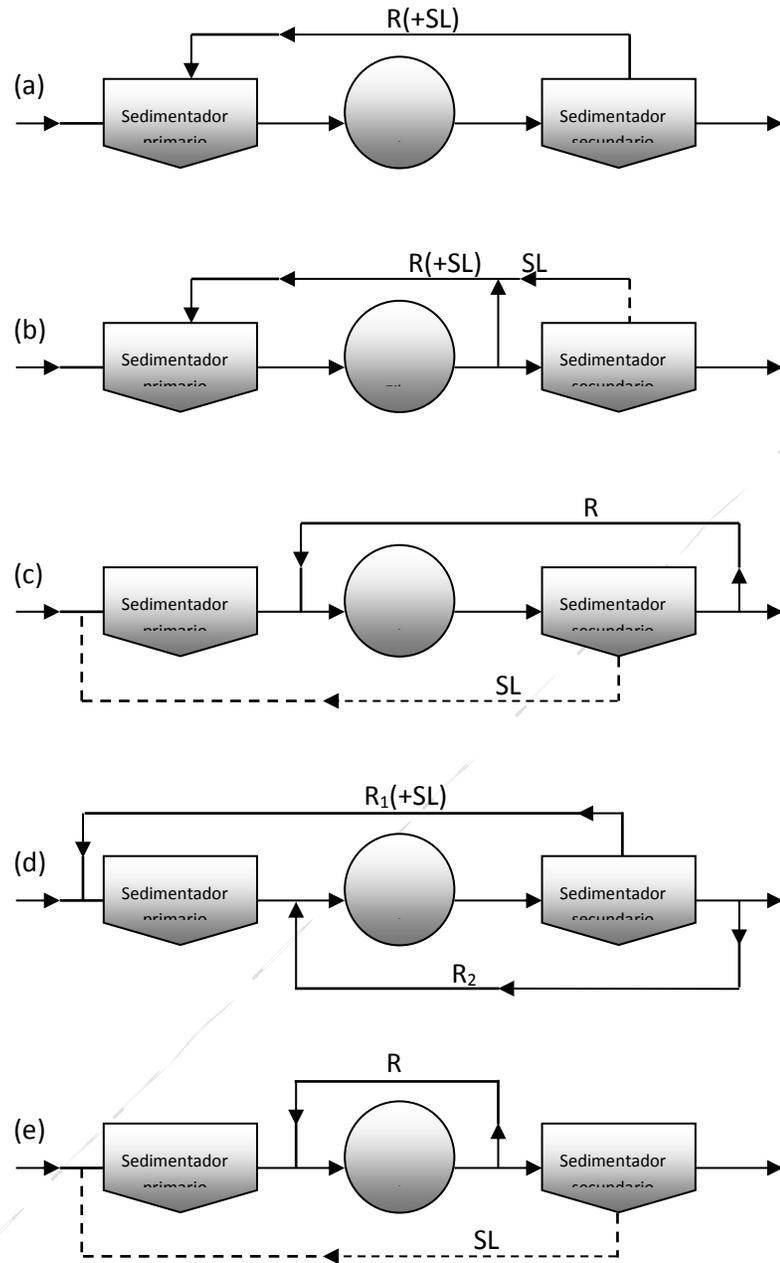


Fig. 6.1 Diagramas de flujo de arreglos de filtros rociadores.

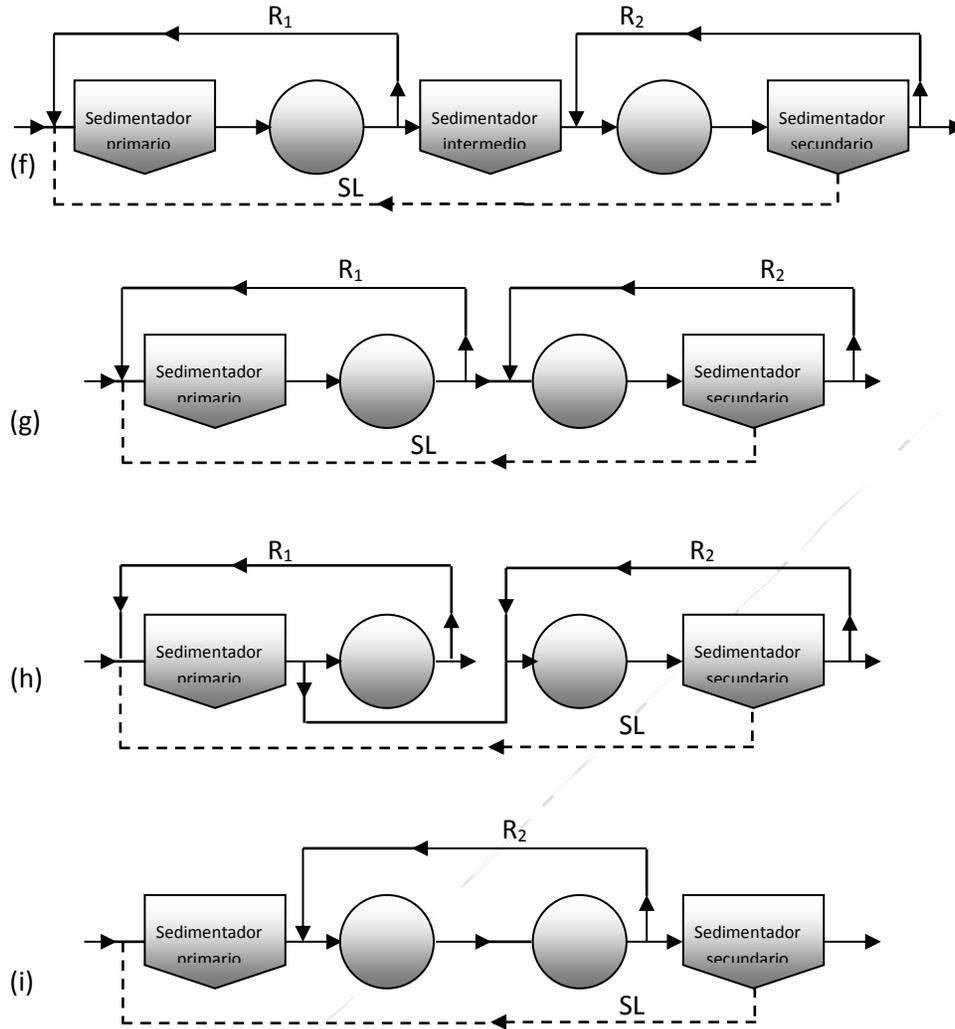


Fig. 6.2 Diagramas de flujo de filtros rociadores de dos etapas.

En estos filtros, la recirculación, aparte de permitir mayores cargas que la aplicada a filtros estándar, obteniendo las mismas eficiencias, ayuda a evitar enlagueamientos y a reducir molestias de olores y moscas.

#### 6.1.2.1.3 Filtros de súper alta carga.

Aceptan cargas orgánicas e hidráulicas mayores que los tres tipos anteriores, debido principalmente a la mayor profundidad del medio filtrante. La gran altura es posible por el empleo de módulos de medios plásticos que son muy ligeros.

#### 6.1.2.1.4 Filtros de desbaste.

Se utilizan para tratar altas cargas orgánicas, mayores de  $1.6 \text{ kg/m}^3 \times \text{día}$  y cargas hidráulicas hasta de  $187 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ .

En muchos casos se utilizan previos a un tratamiento secundario para reducir la carga de residuos con muy alta  $\text{DBO}_5$ .

#### 6.1.2.1.5 Filtros de dos etapas.

Se utilizan para tratar influentes con altas cargas orgánicas o para conseguir nitrificación. Puede diseñarse con o sin un sedimentador intermedio entre los filtros.

### 16.1.3 6.1.3 Parámetros de diseño para filtros rociadores.

El rango de cargas y las características más importantes de esta clasificación se muestran en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Información general sobre el diseño de filtros rociadores.

Característica	Carga				Filtros de desbaste	Filtros de dos etapas
	Baja	Intermedia	Alta	Súper alta		
Medio filtrante	Roca, escoria	Roca, escoria	Roca, escoria	Plástico	Plástico	Roca, escoria
Carga hidráulica $\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$	1 - 4	4 - 10	10 - 40	40 - 200	160 - 533	10 - 40
Carga orgánica $\text{kg DBO}_5/\text{m}^3 \times \text{día}$	0.08 - 0.32	0.24 - 0.48	0.32 - 10	0.8 - 6.0	2.67 - 10.67	0.32 - 10
Profundidad, M	1.80 - 2.40	1.80 - 2.40	0.90 - 1.80	3 - 12	4.50 - 16	1.80 - 2.40

Relación de recirculación	0	0 - 1	1 - 2	0 - 2	1 - 4	0.5 - 2
Presencia de moscas	Muchas	Varias	Pocas	Pocas o ninguna	Pocas o ninguna	Pocas o ninguna
Desprendimiento del cultivo biológico	Intermitente	Intermitente	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
Eficiencia de remoción DBO <sub>5</sub>	80 - 90	50 - 70	65 - 85	65 - 85	40 - 65	85 - 95
Efluente	Bien nitrificado	Parcialmente nitrificado	Poca nitrificación	Poca nitrificación	No hay nitrificación	Bien nitrificado

## 16.2 6.2 Descripción de los filtros rociadores.

Componentes básicos:

a) Sistema de distribución.

b) Medio filtrante.

c) Sistema de drenaje.

d) Estructura de contención.

e) Estación de bombeo de transferencia (Con cierto tipo de topografía puede no ser necesario).

f) Sedimentador secundario.

En la figura 6.3 se muestran los componentes de un filtro rociador.

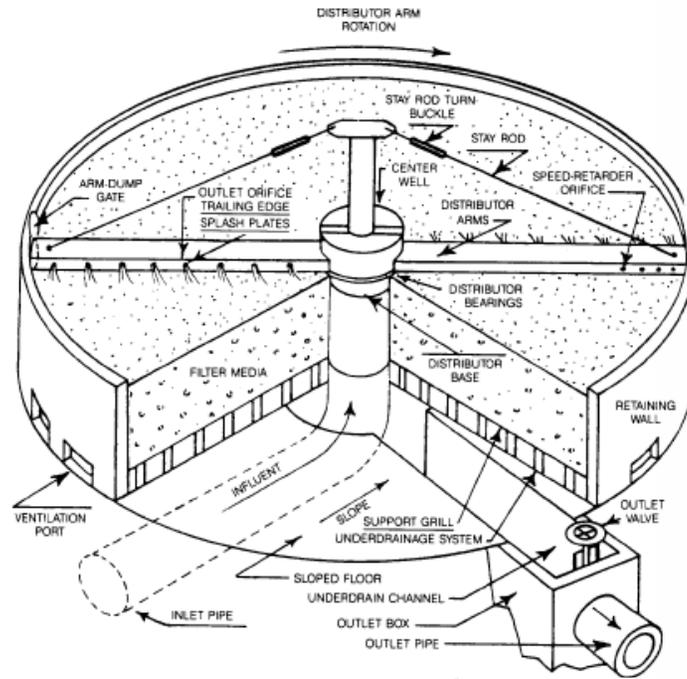


Fig. 6.3 Componentes de un filtro rociador.

### 16.2.1 6.2.1 Elementos de un filtro rociador.

Con referencia a la figura 6.3, se detallan a continuación las partes de un filtro rociador (tabla 6.2).

Tabla 6.2 elementos de un filtro rociador.

Elemento	Función
Tubería del influente	Conduce el agua a ser tratada al filtro.
Base del distribuidor	Elementos de soporte del brazo distribuidor.
Balero del distribuidor	Permite el giro del distribuidor.
Brazos del distribuidor	Conducen el agua a los orificios de rociado.
Orificios de rociado	Controlan el gasto aplicado al filtro que debe ser uniforme por unidad de área del filtro.
Orificios de reversa	Regulan la velocidad de los brazos.
Platos distribuidores	Distribuyen el agua uniformemente al medio filtrante.
Compuerta de desagüe	Para desagüe de los brazos, control de la mosca de filtros y limpieza de los brazos.
Medio filtrante superficial	Proporcionar una gran área sobre la cual crece el cultivo biológico.
Sistema de drenaje	Sirve de soporte al medio y recolecta el agua tratada para conducirla al canal recolector.
Canal recolector	Drena el influente del filtro a la caja de salida.
Caja de salida controlada por una válvula	Opcional, solo se construirá si se desea inundar el filtro para control de la mosca
Tubo de salida	Conduce el efluente del filtro a la siguiente unidad del proceso

#### 16.2.1.1 6.2.1.1 Medio filtrante.

Se han utilizado muchos medios filtrantes: grava, piedra quebrada, piedra de campo, boleos, tabiques, carbón, escoria, conchas de mariscos, latas de estaño, tiras de madera, tiras de polietileno, varias formas de plástico moldeado y módulos de láminas de plástico (Fig. 6.4, 6.5 y 6.6).

Tradicionalmente, el medio usual ha sido el de piedra quebrada. Cuando se cuenta localmente con buen material, la principal ventaja es su bajo costo. Cualquier roca usada para este propósito debe ser de tamaño uniforme para asegurar volumen de vacíos adecuado para el paso del agua y circulación del aire. El tamaño efectivo de la roca es de 75 a 125mm (3 a 5 pulg). Las piedras de menor diámetro no proporcionan suficiente volumen de vacíos y las demasiado grandes tienen área superficial insuficiente para el crecimiento biológico.

Debido al peso del medio, la profundidad del filtro se limita de 1.5 a 3.0 m. Otras propiedades importantes de la piedra o de cualquier otro material que se utilice incluyen: gran resistencia, ausencia de finos, tamaño uniforme, insolubilidad y resistencia química al agua aplicada, resistencia a la desintegración por intemperismo, carencia de toxicidad a microorganismo, inmunidad a ataques bacterianos y degradación por rayos ultravioleta.

Los medios sintéticos fabricados en plásticos son ahora de uso común por sus ventajas sobre los medios de piedra.

Ventajas:

- a) Mayor área superficial por unidad de volumen para alojar el crecimiento biológico.
- b) Mucha mayor relación de volumen de vacíos que mejora la circulación del aire y transferencia de oxígeno y decrece la posibilidad de taponamientos.
- c) Aumenta el tiempo de retención hidráulico.
- d) Su peso ligero permite construir filtros de mayor altura.
- e) Su resistencia química a las aguas residuales es mejor.
- f) Proporciona mejor distribución de las aguas residuales aplicadas.

g) No se requiere una estructura de contención de concreto reforzado, ya que los módulos de medio filtrante son autosoportables.

Hay varias formas de medio plástico. El medio plástico moldeado tiene la apariencia de un panal de abejas. Está formado por láminas de PVC lisas y corrugadas ensambladas con pegamento en módulos rectangulares.

Las láminas tienen comúnmente superficie corrugada para propiciar un mayor crecimiento biológico y aumentar el tiempo de retención. Cada capa de módulos se gira a 90° de la capa previa para mejorar la distribución del agua.

Hay dos tipos básicos de módulos de medios plásticos corrugados: el vertical y el de flujo cruzado a 60°.

En general este último proporciona mejor tratamiento por unidad de volumen, por la uniformidad de la distribución, permitiendo mayor tiempo de retención y promoviendo una mejor transferencia de oxígeno debida a la creación de flujo turbulento. El medio plástico vertical es apropiado para manejar aguas con alta carga orgánica ya que está menos expuesto a taponamientos.

Otro medio plástico también usado consiste de piezas cilíndricas, similares a los tubos para rizar, colocados aleatoriamente en los filtros. Tiene la ventaja de no requerir cortes ni ajustes. Tiene menos vacíos que los medios laminados por lo que es más vulnerable a taponamientos, ello lo hace poco adecuado para manejar altas cargas orgánicas y/o hidráulicas.

Los módulos de medio plástico se cortan en el filtro para ajustarlos a su forma y dimensiones usando una sierra de cadena, cuidando que el material sobrante no caiga dentro del filtro.

El área superficial específica (área superficial por unidad de volumen) de los medios plásticos es de 2 a 10 veces mayor que el de los medios de piedra. Normalmente el área superficial específica es de 80 a más de 245 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

Los medios con áreas superficiales específicas mayores de 130 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> se usan cuando la carga orgánica es baja o para nitrificación.

La carga hidráulica mínima de los medio plásticos es mayor que la que se aplica a medios de piedra, por tanto la profundidad del cultivo biológico es menor debido a que se producen fuerzas mayores de cizalleo.

La altura de los filtros con medios plásticos es de 4.50 m a 12 m.

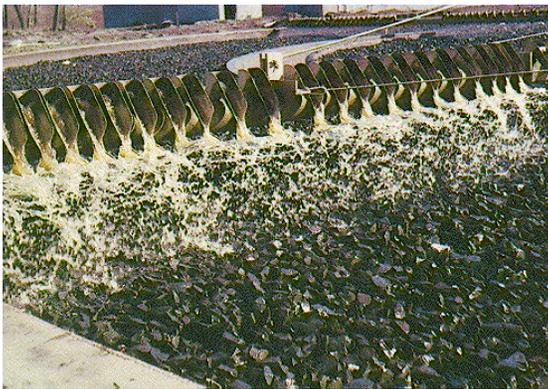


Fig. 6.4 Medio filtrante: plástico



Fig. 6.5 Medio filtrante: piedra.

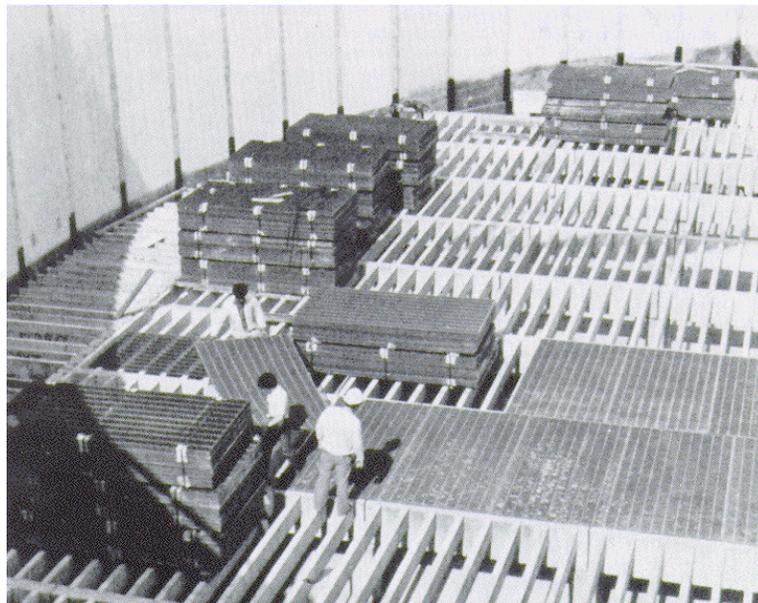


Fig. 6.6 Medios filtrantes: plástico

#### 16.2.1.2 6.2.1.2 Sistema de drenaje.

El sistema de drenaje tiene tres objetivos:

- a) Soporte del medio filtrante.
- b) Colecta y transporta el efluente del filtro a las unidades de proceso siguientes.
- c) Conduce el aire a través del filtro.

Los sistemas de drenaje (Fig. 6.7) de los filtros de piedra normalmente son bloques de barro comprimido o vitrificado o fondos falsos de concreto reforzado. El piso y el sistema de drenaje deben tener suficiente resistencia para soportar el medio, cultivo biológico y el agua que se encuentra en el filtro. Tanto el piso como el sistema de drenaje tendrán pendiente de 1 a 5% hacia un canal recolector central o periférico. Los canales recolectores se dimensionan para tener una velocidad mínima de 0.60 m/seg a gasto medio.

Los bloques de barro son rectangulares con aberturas con área del 20 al 40% de la superficie del block. Hay dos tipos de bloques, uno para filtros de baja carga y otro para filtros de alta carga.

Para permitir capacidad suficiente tanto para conducción del agua como la circulación del aire, los bloques y los canales recolectores se dimensionan para que el agua no ocupe más de la mitad del área hidráulica a gasto máximo, incluyendo recirculación.

Algunos filtros rociadores tienen tubos de ventilación colocados en la periferia del filtro y conectados al sistema de drenaje para ayudar a ventilar el filtro. Otros filtros tienen portales periféricos en la pared del filtro a la altura del sistema de drenaje que permitan ventilación e inspección y limpieza con chorros a presión de ser necesario.

El sistema de drenaje y soporte para medio plástico es más simple y económico, empleándose columnas y trabes o una rejilla. El espaciamiento de trabes es comúnmente de 0.40 a 60 cm. centro a centro apoyándose sobre columnas. En filtros de gran tamaño, la altura del piso del filtro a las trabes de apoyo del medio permite la entrada de personas. Las rejillas deben ser fabricadas de materiales resistentes a la corrosión.

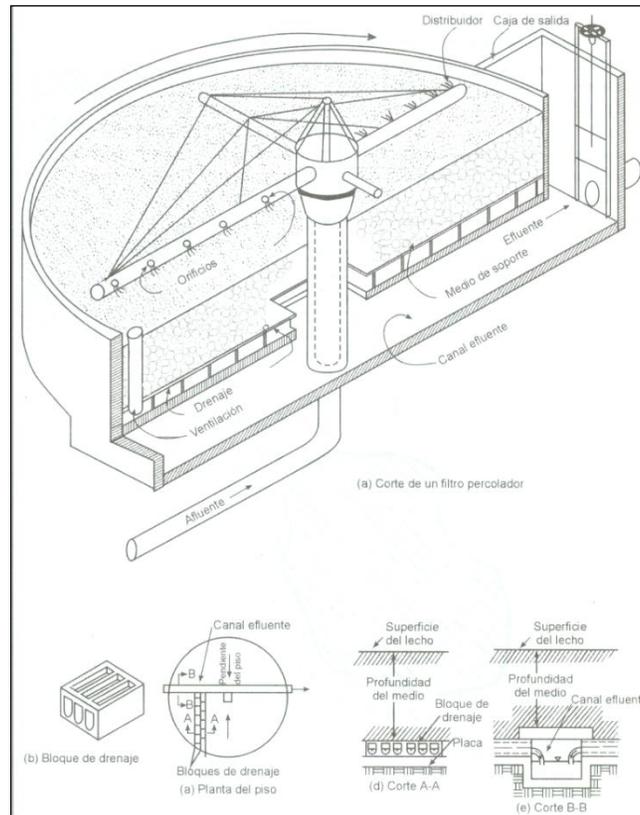


Fig. 6.7 Sistema de drenaje.

### 16.2.1.3 6.2.1.3 La película de lama microbiana.

Los microorganismos emplean la materia orgánica como su fuente de alimentación y en la presencia de oxígeno la metabolizan. El metabolismo de la materia orgánica abarca numerosas y complejas reacciones bioquímicas dentro de las células que componen los microorganismos hasta obtener productos finales de desecho. A continuación se presenta en forma muy esquemática esta ecuación:



Para asegurar una degradación rápida de los compuestos orgánicos y libre de olores desagradables, el filtro debe permanecer en condiciones aerobias, es decir, debe haber suficiente oxígeno disuelto en el agua residual a medida que ésta pasa por el medio filtrante. El oxígeno disuelto requerido proviene del aire que circula a través del filtro, si existe insuficiente circulación de aire se desarrollarán condiciones anaerobias, olores desagradables y la eficiencia del tratamiento disminuirá.

La figura 6.8 muestra un diagrama de la capa de zooglea que se desarrolla en un filtro. Como se puede observar en esta figura, a través del fenómeno de difusión, el oxígeno contenido en las aguas residuales pasa a la superficie de la capa biológica y, a medida que los microorganismos de la biopelícula consumen el alimento, se reproducen, incrementándose el espesor de la misma. Cuando ésta ha crecido demasiado, el oxígeno es consumido rápidamente en la parte superficial generándose entonces condiciones anaerobias en las zonas más profundas donde los microorganismos anaerobios producen gases que tienden a separar la capa adherida al medio filtrante. La fuerza cortante ejercida por el agua residual aplicada favorece el desprendimiento de la película y se inicia el crecimiento de una nueva capa. A las partículas que se han desprendido se les denomina humus y son arrastradas junto con el agua tratada a través del sistema de drenaje hacia un tanque final de sedimentación.

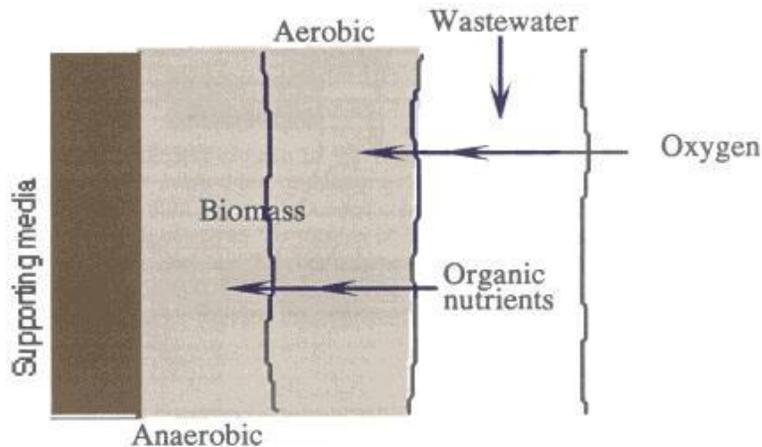


Fig. 6.8. Esquema básico de la biomasa fija.

Se ha observado que el espesor de la capa microbiana es una función de las cargas hidráulica y orgánica aplicadas al filtro y en general, el espesor de la biopelícula tiende a ser mayor a medida que se aproxima a la superficie del filtro.

Como sucede con los sistemas biológicos de tratamientos residuales, el rango y las proporciones de las diferentes especies de organismos presentes en la población microbiana dependen de las condiciones de operación del sistema, especialmente la carga y la composición de nutrientes de las aguas residuales en proceso de tratamiento. Sin embargo, la lama microbiana de los percoladores es ecológicamente más compleja que, por ejemplo, los lodos activados. El equilibrio entre las diferentes especies presentes varía también con la situación dentro del lecho, y cuando la unidad está situada al aire libre, el equilibrio ecológico mostrará también variaciones estacionales. La película de lama interviene en una compleja serie de cadenas alimenticias y relaciones entre el predador y la presa, desde las bacterias hasta los insectos, teniendo cada una de ellas un efecto significativo en la operación del percolador. Los sistemas de película fija reaccionan diferente ante los cambios en el ambiente operacional, como la temperatura y la presencia de cargas de choque y materiales tóxicos, comparados con los sistemas de crecimiento en suspensión, como el proceso de lodos activados.

El desarrollo de la película comienza con un medio de soporte limpio, el crecimiento inicial de la lama podrá necesitar varias semanas para alcanzar su desarrollo sobre la superficie del empaque, un proceso que se conoce como "maduración". La lama se desarrolla a partir de los organismos presentes en aguas residuales o inoculados, al principio, la eficiencia de purificación es baja pero se aumenta según se acumula la película de lama sobre las superficies del empaque. Según se consumen los nutrientes, la película de lama se hace más gruesa hasta que es suficientemente pesada para separarse del empaque por su propio peso y el flujo del líquido lo arrastra fuera del sistema. Como ya se mencionó antes, a la película de lama se la conoce como biomasa o zooglea; la separación de la lama de la superficie del empaque se llama "desprendimiento", y a la lama separada "humus". Por tanto, los procesos de purificación que tienen lugar en un percolador son, como los de un proceso de lodos activados, una combinación y aglomeración del material en la masa microbiana, oxidación microbiana de los nutrientes y conversión de los nutrientes a masa microbiana. La proporción con que cada componente contribuye al efecto global de purificación depende de la carga del sistema y de la naturaleza de las aguas residuales sometidas a tratamiento. En el caso de aguas residuales que contengan una gran proporción de sólidos, el mecanismo de absorción puede llegar a ser el más importante, y a menudo, los sólidos influentes se pueden recuperar de la lama desprendida, prácticamente sin cambio alguno.

### **16.3 6.3 Parámetros para evaluación del proceso.**

La evaluación del proceso es una medida esencial para controlar la calidad de la operación y determinar cambios en ésta. En los filtros percoladores y biodiscos la evaluación del proceso se realiza controlando los siguientes análisis de laboratorio:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Sólidos suspendidos.
- Nitrógeno y Fósforo.

Determinando la eficiencia de remoción de estos parámetros de acuerdo con el modo de operación de la planta, como por ejemplo, el caudal de recirculación. La temperatura y el pH son parámetros importantes que deben considerarse para el control de la operación de la planta.

### 16.3.1 6.3.1 Parámetros de control.

**Oxígeno Disuelto.-** El oxígeno disuelto juega un papel importante en los cambios biológicos que se llevan a cabo en la depuración del agua. En plantas con bajos influentes y grandes tiempos de retención en sedimentadores la cantidad de oxígeno disuelto es muy baja e incluso puede llegar a ser nula; este hecho ocasiona que proliferen las bacterias anaerobias y que el agua residual entre en condiciones sépticas desprendiendo malos olores. Ya que las bacterias aerobias toman el oxígeno para realizar sus funciones metabólicas del que está disuelto en el agua, se debe asegurar una aeración adecuada del agua para satisfacer esta necesidad.

**Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO).**- La medición más utilizada es la DBO<sub>5</sub> a los cinco días. Esta determinación mide el oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Se puede calcular la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. Los datos se utilizan para dimensionar las instalaciones de tratamiento, medir rendimiento de algunos de estos procesos y, el cálculo de la velocidad a la que se requerirá el oxígeno. El cálculo es de la siguiente manera:

$$DBO_5 = [(DO_b - DO_i) 100 / \% \text{ Dilución}] - DO_b - DO_s$$

Donde:

DO<sub>b</sub> significa que es la concentración de O<sub>2</sub> disuelto encontrado en el testigo y diluciones de muestras.

DO<sub>i</sub> es la concentración de O<sub>2</sub> disuelto al final del período de incubación.

DO<sub>s</sub> es la concentración de O<sub>2</sub> disuelto originalmente presente en la muestra sin diluir.

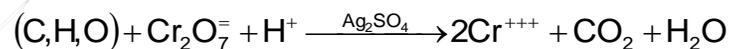
Cuando el valor de  $DO_s$  se aproxima al de  $DO_b$  o si el valor de DBO es mayor a 200 mg/L el segundo término es despreciable.

La oxidación bioquímica es un proceso lento y teóricamente tarda un tiempo infinito en completarse. En un período de 20 días la reacción se completa entre 95 y 99% y, en el tiempo usualmente determinado, se completa entre el 60-70% a temperatura constante de 20° C.

Las limitaciones en la determinación de DBO incluyen la necesidad de tener que disponer de una elevada concentración de bacterias activadas que actúen como inóculo, la necesidad de reducir los efectos de organismos nitrificantes, el arbitrario y prolongado período de tiempo requerido para obtener resultados, el hecho de que sólo se midan los productos orgánicos biodegradables y el que el ensayo no tenga validez estequiométrica una vez que la materia orgánica soluble presente en la solución haya sido utilizada.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).**- El ensayo se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante, tal como el dicromato de potasio, en medio ácido a temperatura elevada. Para facilitar la oxidación de ciertas clases de compuestos orgánicos se necesita un catalizador como sulfato de plata.

La reacción principal utilizando dicromato como agente oxidante puede presentarse de una manera general siguiente:



El ensayo se utiliza en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica.

El valor de DQO de un agua residual, por lo general, es mayor que el valor de DBO porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente. En muchos tipos de aguas residuales es posible correlacionar la DQO con la DBO, lo cual resulta útil porque el tiempo de determinación son de 3

horas, comparado con 5 días respectivamente y presenta ventaja en tiempo. Una vez establecida la correlación puede utilizarse medidas de DQO para el funcionamiento y control de la planta de tratamientos.

**Temperatura.-** La medición de la temperatura puede ser útil para identificar flujos infiltrados y descargas industriales ilegales, asimismo, este parámetro es uno de los factores más importantes, ya que afectan el crecimiento bacteriano. Generalmente la tasa de crecimiento se duplica por cada 10º C de incremento de temperatura, según la temperatura óptima del microorganismo.

**pH.** - Otro parámetro importante que se utiliza para controlar una planta de filtros percoladores es el pH. Por lo general, el valor del pH en el influente de un filtro percoladores es muy variable, mientras que su efluente presenta valores cercanos a la neutralidad. Los cambios bruscos de pH usualmente se deben a descargas industriales y afectan gravemente la vida de los microorganismos que forman la zooglea.

**Sólidos.-** La determinación de los sólidos sedimentables es de primordial importancia ya que nos permite calcular la cantidad de lodos esperados en los sedimentadores. Adicionalmente se emplea para estimar el volumen de sólidos removidos en la sedimentación.

Por su parte la cuantificación de los sólidos suspendidos es sumamente valiosa pues nos indica la cantidad de material en suspensión que puede ser removida por filtración o coagulación química. Las causas por las que un efluente puede presentar una gran cantidad de sólidos suspendidos son: formación de lodos en el medio filtrante, altas cargas hidráulicas o cortos circuitos a través del sedimentador secundario, o sobrecargas orgánicas o choques causados por aguas residuales tóxicas.

Los sólidos totales del agua residual proceden del agua de abastecimiento, del uso industrial y doméstico y del agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas. Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavadoras, trituradores de basura y ablandadores de agua.

Analíticamente, el contenido total de sólidos del agua residual se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103 -105° C. La materia que tenga una presión de vapor significativa a dicha temperatura se elimina durante la evaporación y no se define como sólido. Los sólidos totales, o residuo de evaporación, pueden clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables, a base de hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro.

La fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se depositarán en el fondo de un cono Imhoff durante una hora. Los sólidos sedimentables con una medida aproximada de la cantidad de lodo que se eliminará mediante sedimentación.

La fracción de sólidos filtrables se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal son partículas con diámetro entre 0.001 y 1  $\mu\text{m}$ ; los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua.

A su vez, cada una de estas clases de sólidos puede clasificarse de nuevo en base a su volatilidad a 600° C. La fracción orgánica se oxidará y será expulsada como gas a dicha temperatura, permaneciendo la fracción inorgánica como ceniza. El análisis de los sólidos volátiles se aplica más frecuentemente a los fangos del agua residual para medir su estabilidad biológica.

**Nitrógeno.** - La determinación de los compuestos nitrogenados, tales como nitritos, nitratos, y nitrógeno amoniacal proporcionan elementos importantes en relación al control del proceso.

La cuantificación de nitritos se utiliza para conocer que también se está llevando a cabo la nitrificación del desecho en el proceso de tratamiento. Una alta concentración de nitritos indica una nitrificación incompleta que puede ocasionar problemas tales como una alta demanda de oxígeno o bien alta demanda de cloro en el efluente.

Los nitratos rara vez se encuentran en el agua cruda a tratar o a la salida del sedimentador primario, mientras que en el efluente del sedimentador secundario es posible encontrar concentraciones de hasta 50 mg/L, esto dependiendo del contenido de nitrógeno total del agua cruda que se procesa.

El nitrógeno amoniacal está asociado con la demanda de oxígeno requerida para oxidar el amoniaco durante el tratamiento secundario. La determinación de este parámetro evalúa el grado de nitrificación, el cual está ligado con la demanda de cloro del efluente.

**Fósforo.**- El fósforo es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento de los microorganismos durante el tratamiento secundario, su deficiencia limita el crecimiento biológico y obviamente disminuye la eficiencia del proceso en lo referente a la remoción de DBO.

El agua residual doméstica contiene aproximadamente 10 mg/L de fósforo, de los cuales del 20 al 30 % pueden ser removidos durante el crecimiento biológico de los microorganismos. Se recomienda además, evaluar los siguientes parámetros: Cloro residual, Turbiedad y NMP de acuerdo con el uso a que se destine el efluente.

**Organismos Coliformes.** - El tracto intestinal del hombre contiene innumerables bacterias en forma de bastoncillo conocidas como coliformes. Cada persona evacua de 100 000 a 400 000 millones de organismos coliformes por día, además de otras clases de bacterias. Los organismos coliformes no dañan el tracto digestivo del hombre y, de hecho, son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales.

El grupo de coliformes son todos los microorganismos aerobios y anaerobios facultativos, bacterias gram negativos, no formadoras de esporas, las de forma de bastón, las cuales fermentan lactosa con formación de gas dentro de 48 horas a 35° C.

Todos los organismos que producen una colonia con un brillo verde oro metálico dentro de 24 horas de incubación son considerados miembros del grupo coliformes. La presencia de organismos coliformes se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos también pueden estar presentes y su ausencia indica que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades.

#### **16.4 6.4 Factores ambientales que afectan el funcionamiento.**

Antes de los años 40's la mayoría de las PTAR proporcionaban tratamiento biológico por película fija en filtros rociados, declinando en los 50s debido a la aparición del uso masivo de sistemas de biomasa suspendida principalmente lodos activados.

Las desventajas de los filtros rociados eran el tipo de medio de soporte que en esa época eran solamente de piedra y su baja eficiencia relativa (80-90%) contra la eficiencia de lodos activados (85-95%) para remover DBO<sub>5</sub>.

A principios de los 80s aparecen los nuevos medios plásticos que incrementan la capacidad y aumentan la eficiencia de los filtros rociados, haciendo que resurjan nuevamente por sus ventajas de simplicidad de operación, resistencia a cambios de cargas, baja producción de lodos y bajos requisitos de energía.

El proceso biomasa fija funciona igual que cualquier proceso biológico, su eficiencia se mide por la calidad de agua de su afluente como  $DBO_5$  y SST, comparada con estos mismos parámetros en el influente a agua cruda. Esta eficiencia tiene que ser suficiente para cumplir con las normas de calidad que establecen las autoridades, esto es con los NOM-ECOL-001,002 y 003.

Otros parámetros utilizados son la  $DBO_5$  soluble, la demanda química de oxígeno (DQO) y el nitrógeno amoniacal, de acuerdo con los objetivos del tratamiento.

Los factores que afectan el proceso de película fija pueden ser atribuibles a procedimientos de operación y mantenimiento, condiciones ambientales, características del equipo y errores en el diseño original.

Debido a que los sentidos de película fija involucran posesos biológicos, los factores ambientales son cruciales en el funcionamiento del sistema estos factores influyen en las características de las aguas residuales que serán tratadas, condiciones climatográficas (temperatura, oxígeno disuelto), comportamiento de la biomasa y el grado de pretratamiento antes del influente al filtro.

#### **16.4.1 6.4.1 Características de las aguas residuales.**

Los constituyentes orgánicos (y en ocasiones inorgánicos), son la fuente de alimentación y energía de los microorganismos en procesos de película fija, las características y cantidad de estos constituyentes son factores importantes que influyen en el proceso.

Los cambios a corto y largo plazo de las características del agua cruda pueden causar cambios importantes en los modelos de crecimiento de la biomasa fija, el efecto directo son los cambios en las eficiencias de tratamiento y la cantidad de lodos biológicos producidos.

Los procesos de película fija han sido usados para variación de materia de carbonacea (remoción de DBO). La DBO<sub>5</sub> en la forma de medir la cantidad de materia orgánica en el influente y efluente de las plantas de tratamiento.

En algunos casos, se utiliza la DQO, para control de la operación, principalmente en aguas residuales industriales donde este parámetro es más representativo.

En el caso de obtener nitrificación en el proceso, el parámetro a medir es el nitrógeno amoniacal en el influente y efluente del filtro.

#### *16.4.1.1 6.4.1.1 Variación de aguas residuales*

Las variaciones en el gasto, concentración y características del agua cruda pueden afectar significativamente el funcionamiento del proceso de tratamiento y la calidad del producto final.

Las causas típicas de estas variaciones incluyen contribuciones temporales o puntuales de descargas industriales que aumentan el gasto y principalmente la concentración y características del agua residual; recirculación de lodo y sobrenadantes al proceso; infiltración y otros factores.

El agua limpia que entra en los alcantarillados sanitarios como es el agua de lluvia, y el agua que se infiltra en drenajes, diluyen la concentración de las aguas residuales incrementa las cargas hidráulicas, con ello el proceso de película fija sufre cambios importantes que se reflejan en la eficiencia total del tratamiento.

Aunque el proceso de filtros rociados es razonablemente tolerante a variaciones de flujo y carga, estos factores pueden desestabilizar el funcionamiento de la planta de tratamiento,

#### *16.4.1.2 6.4.1.2 pH y alcalinidad*

Aunque los filtros rociados son reconocidos por su resistencia a variaciones de carga, el cambio extremo de pH pueden retardar el funcionamiento de la biomasa y disminuir su eficiencia, en casos severos puede ser tóxico para los microorganismos, en general las bacterias sobreviven en rangos de pH entre 5.5 y 9 y mejor todavía para valores entre 6.5 a 8.5.

Dependiendo de la capacidad de amortiguamiento de las aguas residuales, la nitrificación puede dar origen a un cambio de pH a valores menores, en algunos casos será necesario agregar alcalinidad con bicarbonatos o sosa para mantener el pH en el rango deseado.

#### *16.4.1.3 6.4.1.3 Toxicidad*

La toxicidad en aguas residuales que afecta la biomasa, puede atribuirse a cantidades excesivas de sustancias orgánicas complejas, metales pesados, pesticidas, sales inorgánicas, amoníaco, y a desinfectantes como el cloro.

Por ello, es necesario realizar una caracterización completa de las aguas residuales cuando se sospeche de la presencia de algún tóxico, principalmente cuando tenemos alguna descarga de origen industrial.

El material tóxico que entra al sistema, aunque sea en pequeñas concentraciones, puede inactivar la población microbiana, cuando esta sucede, se puede incrementar el desprendimiento de la biomasa fija, disminuyendo la eficiencia del tratamiento.

Los organismos biológicos de la película fija, (zooglea) pueden aclimatarse a sustancias tóxicas y el filtro seguirá su funcionamiento con bajas eficiencias. Por otro lado, cuando tenemos choques por altas concentraciones o cambios repentinos en la concentración de un tóxico el proceso puede desestabilizarse rápidamente si el tóxico penetra totalmente la película biológica.

#### *16.4.1.4 6.4.1.4 Nutrientes*

Las aguas residuales domésticas normalmente contienen nutrientes como nitrógeno y fósforo y elementos traza como potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc y cobre. Esto usualmente asegura un buen crecimiento de la biomasa fija.

Los niveles de estos nutrientes deben ser medidos y evaluados, especialmente si tenemos desechos industriales.

Una aproximación conservadora para determinar la cantidad de nitrógeno y fósforo, está en función de la  $DBO_5$  influente. La relación empírica normalmente usada para procesos biológicos aerobios son P: N:  $DBO_5 = 1:5:100$ .

Las fuentes disponibles de nitrógeno elemental y fósforo son el amoníaco y los ortofosfatos solubles  $(PO_4)^{-3}$  respectivamente. Por esta razón, deben medirse estos parámetros en el agua influente al filtro para determinar si existe deficiencia de nutrientes.

Cuando se requiere agregar nutrientes al sistema, se pueden utilizar los nutrientes químicos como fuentes de nitrógeno y fósforo.

Ejemplo de cálculo de nutrientes para ser agregados al sistema.

A. Datos necesarios

- 1)  $DBO_5$  influente= 170mg/L
- 2) NTK influente= 4.5mg/L
- 3) Relación sugerida  $DBO_5/N=100/5=20$
- 4) Relación sugerida  $DBO_5/P= 100/1=100$
- 5) Q medio diario Q=7.5mgd
- 6) Amoníaco/N relación de peso atómico  $NH_3/N=17/14=1.2$
- 7) Fosfato trisódico/fósforo, relación de peso atómico  $Na_3PO_4/P=164/31=5.3$
- 8) Ácido fosfórico/fósforo, relación peso atómico  $H_3PO_4/P=98/31=3.16$

B. Calcule la cantidad de N y P requeridos por día para alcanzar las relaciones propuestas.

$$\text{Necesidad de nutrientes} = \frac{DBO_5 \text{ mg/L}}{\text{relacionsugerida}}$$

$$\text{Nitrógeno requerido} = \frac{\text{DBO}_5 \text{ mg/L}}{\text{relacion DBO/N}} = \frac{170}{20} = 8.5 \text{ mg/L}$$

C. Cálculo de la diferencia de nitrógeno

$$N_{\text{req}} = N \text{ necesario} - N \text{ disponible}$$

$$N_{\text{req}} = 8.5 - 4.5 = 4.0 \text{ mg/L}$$

D. Calcule la cantidad de nitrógeno por día que se agregara

$$N = \text{concentración} \times \text{gasto}$$

$$N = \left(4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) (7.5 \text{ mgd})$$

$$N = 4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \left(330 \frac{\text{L}}{\text{S}}\right) = 1320 \frac{\text{mg}}{\text{S}} \times 86400 \text{ s} \frac{1 \text{ kg}}{1000000 \text{ mg}}$$

$$N = 114.05 \text{ kg}$$

E. Calcule el peso del producto comercial que se agregara por día

$$P. \text{ Químico} = \frac{\text{Nut. req. (peroatómico)}}{\text{concentración del químico \%}}$$

$$\text{Amoniaco} = \frac{(N. \text{kg/d})(1.2 \text{ NH}_3 / N)}{\text{NH}_3 (\text{concentración})}$$

$$\text{Amoniaco 80\% grado comercial} = \frac{(114.05)(1.2)}{0.8} = \frac{136.86}{0.8} = 171 \text{ kg/d}$$

## 16.4.2 6.4.2 Temperatura.

Como todos los tratamientos biológicos, la calidad del efluente de un sistema de biomasa fija se puede determinar cuándo disminuye la temperatura en forma significativa. En el caso de filtros rociados, la torre de enfriamiento del agua residual que entra al filtro.

En un estudio (PIERCE 1978) se observó que con temperaturas bajas de invierno, la eficiencia global en DBO<sub>5</sub> disminuyó en al menos un 33% en 9 filtros estudiados.

Los efectos adversos por temperaturas pueden reducirse con los métodos siguientes:

- Construir un edificio para mantener los filtros cubiertos.
- Disminuir la recirculación tanto como sea posible para reducir los efectos de enfriamiento.
- Reducir el tiempo de retención de sedimentador.
- Operar filtros de dos etapas en forma paralela para reducir efectos de enfriamiento por menos pasos del brazo distribuidor.
- Ajustar orificios placas del brazo distribuidor para evitar en lo posible el efecto de “rocío”.
- Construir una barrera rompevientos para proteger los filtros del viento y reducir las pérdidas de calor.
- Abrir ligeramente la válvula al final del brazo distribuidor para permitir el vaciado del agua de la tubería.
- Cubrir el carcomo de recirculación y el tanque dosificador para reducir perdidas de calor.

## 16.4.3 6.4.3 Oxígeno disuelto.

Aunque la parte interna de la película biológica es anaerobia el sistema tiene una parte importante aerobia que requiere oxígeno para oxidar la materia orgánica.

Los requisitos de oxígeno están en función de la carga de DBO, el tipo de cultivo biológico, la temperatura y la carga hidráulica. Si el oxígeno disuelto no está presente en concentraciones suficientes, se presentan malos olores y disminuye la eficiencia del tratamiento.

La ventilación del filtro es muy importante para mantener las condiciones aerobias del sistema, un adecuado sistema de drenaje y ventilación permitirán el flujo de aire cuando existe un diferencial de temperatura entre el agua y el aire, proporcionando una ventilación natural del sistema.

Si se tienen concentraciones del oxígeno disuelto bajas, se pueden considerar las siguientes acciones:

- Destapar las tuberías de ventilación.
- Remover la basura y material que obstruya el canal de drenaje.
- Remover sólidos depositados en el canal de salida efluente del filtro.
- Si el sistema de drenaje trabaja a más de la mitad de su capacidad, disminuya el gasto de recirculación.
- Incremente la recirculación al máximo para remover el exceso de biomasa fija, si se tiene la capacidad de drenaje.

En caso extremo, pueden colocarse ventiladores de aire forzado para mantener condiciones aerobias en sistemas de biomasa fija con alta formación de zooglea o con medios filtros demasiado profundos o en sistemas cerrados por control de olor y temperatura.

#### **16.4.4 6.4.3 Microbiología.**

Los procesos de biomasa fija producen una película biológica (zooglea) que cubre la superficie del medio. Cuando el proceso es usado para remover  $DBO_5$ , la población microbiana está formada por varias especies de bacteria heterótrofas con pequeñas poblaciones de protozoarios y hongos. Si se usan para nitrificar, predominaran los microorganismos autótrofos nitrificantes con un pequeño número de heterótrofos.

Bajo condiciones de baja concentración de oxígeno disuelto, deficiencia de nutrientes o valores bajos de PH, crecerán hongos y bacterias encapsuladas como especies predominantes. El funcionamiento de sistema se reducirá, debido a que las reacciones metabólicas son muy lentas para ese tipo de microorganismos.

Cuando se aplican las aguas residuales al filtro, la zooglea crece en espesor en el medio filtrante, el exceso de biomasa es desprendido periódicamente y removido en el sedimentador secundario.

Algunos investigadores han observado que la efectividad de la biomasa se incrementa hasta cierto espesor de la película biológica, la razón de esto es la dificultad para que el sustrato y el oxígeno disuelto alcancen la zona profunda de la película. Además, el espesor de la película es muy importante en el funcionamiento del filtro.

El control del espesor de la película biológica es muy importante e incide en la eficiencia del tratamiento. El control de espesor se logra con el crecimiento de organismos como gusanos, larvas, y rotíferos que forman conductos en la biomasa o bien con alta carga hidráulica que induzcan el desprendimiento de la biomasa.

Los organismos mencionados son más comunes en filtros de baja carga hidráulica, mientras que el control del espesor se realiza en filtros de alta y súper alta carga por medios hidráulicos (por ejemplo incrementando la recirculación).

#### **16.4.5 6.4.4 Grado de pretratamiento.**

Las características del agua residual como influente al filtro rociador es afectada por el tipo y la eficiencia de los procesos de pretratamiento, anteriores al filtro.

Estos procesos generalmente por las rejillas, desarenadores y sedimentadores primarios o algún otro pretratamiento para aguas residuales industriales, como podría ser tratamiento primario avanzado para reducir sólidos sedimentados y DBO, control de pH, adición de químicos, preaeración, remoción de tóxicos específicos, reducción de carga, etc.

REGISTRO DE PARÁMETROS EN FILTROS ROCIADORES

REGISTRO DE OPERACIÓN MENSUAL No. \_\_\_\_\_

MES \_\_\_\_\_ AÑO \_\_\_\_\_

F E C H A	D I A	INFLUENTE (EFLUENTE PRIMARIO)										EFLUENTE												
		D B O	D B O <sub>s</sub>	D Q O	SS T	S S V	O D	p H	T	Q <sub>i</sub>	Q <sub>R</sub>	DB O	D B O <sub>s</sub>	D Q O	SS T	S S V	O D	p H	T	ALCALI- NIDAD	AMO- NIACO	N T K		
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
11																								

12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
.																				
.																				
29																				
30																				
31																				



## **16.5 6.5 Factores que influyen en la eficiencia.**

### **16.5.1 6.5.1 Medio filtrante y profundidad.**

Los medios filtrantes más comunes en filtros rociados son la piedra, la madera y el plástico. Dependiendo del tipo de medio, la profundidad máxima efectiva del filtro es de 1.5 m. La profundidad máxima del filtro de roca es de 3 m. por el peso de la roca los medios de madera y plástico pueden tener profundidades de 10 m. o más la profundidad máxima de estos medios depende del análisis de costo de bombeo. El tiempo de retención del filtro se incrementa, así como la profundidad y por tanto el grado de tratamiento.

Los medios filtrantes plásticos pueden ser de flujo vertical o de flujo cruzado o de la forma aleatoria. El medio plástico tiene una alta área superficial específica y más espacios vacíos que el medio de roca los valores altos de área superficial específica permite cargas orgánicas mayores debido a que tenemos mayor película biológica por unidad de volumen del filtro.

Mayores espacios vacíos permiten altas cargas orgánicas e hidráulicas por el incremento del flujo de aire a través del filtro reduciendo taponamientos por el crecimiento de la biomasa.



Fig. 6.9 Medio filtrante.

### **16.5.2 6.5.2 Carga hidráulica.**

Las tasas de carga hidráulica, incluyendo la recirculación, están en el rango de 15 a 117m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>xd.

Las tasas son normalmente mayores en plástico que en la roca. Carga de 44 a 117 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>xd son valores normalmente para plástico. Bajas cargas hidráulicas incrementen el tipo de retención y la profundidad de la biomasa.

Por otro lado, las altas cargas hidráulicas generan mayor cantidad de oxígeno para la película biológica del filtro.

### **16.5.3 6.5.3 Carga orgánica.**

La carga orgánica puede ser tan baja como 80gDBO/m<sup>3</sup> para filtros de baja carga hasta más de 1600gDBO/m<sup>3</sup> para un filtro de desbaste. Generalmente cuando aumenta la carga orgánica y la eficiencia en tratamiento disminuye. Las altas cargas orgánicas, la película biológica crece, en estas condiciones, se generan malos olores en el filtro. Los olores más fuertes se producen cuando el agua contiene sulfatos en alta concentración, bajo condiciones anaerobias los sulfatos se transforman en sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).

#### **16.5.4 6.5.4 Ventilación.**

El oxígeno necesario para el metabolismo de los microorganismos es abastecido por el flujo de aire formado en el filtro, generalmente en forma natural, cuando se requiere mayor cantidad de oxígeno (aire) se colocan ventiladores para forzar la entrada de aire al sistema.

Se requieren un diferencial de temperatura del orden de 4 °C entre la parte alta y la parte baja del filtro para obtener circulación suficiente para una concentración natural.

El método más común de ventilación es por aeración natural en la mayoría de los casos. La ventilación natural se produce por convección, por difusión o por acción del viento.

La convección es la fuerza primaria de la ventilación, es causada por la diferencia en densidad del aire. Cuando el aire del filtro es más frío y más húmedo que el aire ambiente, es más pesado y crea un desplazamiento del aire hacia abajo. Cuando el aire en el filtro es más caliente, dependiendo de la humedad relativa, puede ser más ligero que el aire del ambiente, creando un flujo de abajo hacia arriba (Fig. 6.10).

La difusión es el movimiento del aire de una región de concentración relativamente alta a otra de baja concentración (dentro del filtro). La circulación por difusión tiene poca importancia en filtros bien ventilados.

El viento que sopla sobre un filtro puede crear turbulencia y provocar corrientes que afectan la circulación del aire esto también puede causar variaciones de presión que empujaron el aire hacia arriba y/o abajo a través del filtro.

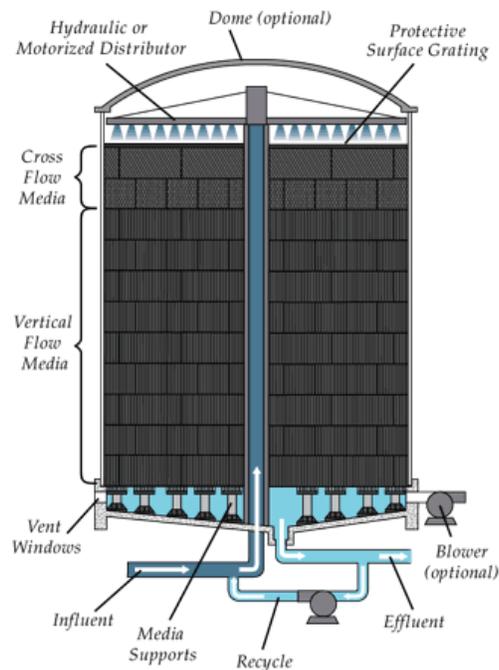


Fig. 6.10 Sistema de ventilación en el filtro.

### 16.5.5 6.5.5 Arreglo de los filtros.

Los filtros rociados pueden ser operados en paralelo (una etapa) o en serie (dos etapas). Se utilizan filtros en dos etapas puede o no haber un sedimentador intermedio entre ambos filtros.

Los filtros de una etapa se presentan en la mayoría de los sistemas de tratamiento por filtros rociados.

En general, dos filtros operados en serie, sin sedimentador intermedio, no proporciona mejor tratamiento que los mismos dos filtros en paralelo, debido a que la carga orgánica total y el tiempo de retención son los mismos.

Un sistema de dos etapas con un sedimentador intermedio para remover los sólidos generados en el primer filtro es utilizado para aguas residuales de alta concentración, así mismo se utilizan para remoción de nutrientes. El primer filtro y el clarificador intermedio reduce la carga orgánica carbonácea lo que permite que el segundo filtro desarrolle bacterias nitrificantes que remueven los nutrientes.

### **16.5.6 6.5.6 Distribución del gasto.**

El flujo del agua influente debe distribuirse de manera uniforme (con la misma carga hidráulica) en todo el filtro para alcanzar mejores eficiencias de tratamiento.

Para flujos bajos se puede aumentar la recirculación para prevenir cortos circuitos. Algunos medios plásticos (módulos de flujo cruzado) redistribuyen el agua residual de tal manera que ayuda a prevenir los cortos circuitos.

### **16.6 6.6 Operación del filtro.**

#### *Operación del distribuidor.*

El beneficio principal de la recirculación es incrementar la eficiencia de la humedad del sistema. El uso de la recirculación puede ser innecesario si la velocidad del distribuidor es reducida muy por debajo de velocidades convencionales. En los últimos 30 a 40 años se usaron velocidades rotacionales de 0.5 a 2 min /revolución con dos o cuatro brazos y el filtro dosificaba cada 10 a 60 segundos.

Investigaciones recientes y evidencias históricas indican que al disminuir la velocidad de los brazos distribuidores puede ser muy ventajoso en diversas situaciones. Estas ventajas fueron observadas por los operadores e investigadores por más de 40 años pero no fueron consideradas en el diseño hasta en los últimos años. Estudios de los años 40 y principios de los 50 demostraron que dosificaciones cada 30 a 55 min/rev., contra la práctica convencional de 5 min/rev, no solamente

mejoraron el funcionamiento del filtro sino que también se controló el espesor de la película biológica y disminuyeron las moscas en los filtros. Un trabajo en los años 60 demostró que disminuyendo la velocidad del distribuidor se reducía el exceso de capa biológica, los malos olores y mejoraba la operación de filtros de medios plásticos.

*Intensidad de dosificación instantánea (Spûlkraft) sk*

La intensidad de dosificación instantánea conocida como concepto SK, se refiere al espesor de agua que pasa a través del medio filtrante, se relaciona con la siguiente expresión:

$$SK = \frac{[(q+r)(1000\text{mm/m})]}{[(a)(n)(60\text{min/seg})]}$$

Donde:

- SK = Intensidad de dosificación instantánea de un brazo, (mm/paso)
- q+r = Carga hidráulica promedio, (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h)
- a = Número de brazos
- n = Velocidad de rotación, (rpm)

En plantas existentes el rango de operación va de 2 a 10 mm/paso, sin embargo la aplicación de valores de 50 hasta 500 mm/paso es ahora considerada como práctica común.

Los ingenieros de diseño y operadores de 15 plantas investigadas, observaron un mejor funcionamiento, una notable reducción de olores y una reducción de la película biológica que mejora el funcionamiento del filtro rociador.

Al inicio de la operación con altos valores de SK, (de 2 a 10 semanas) se produce mayor cantidad de sólidos anaerobios, difíciles de sedimentar. La tabla 6.3 proporciona valores de diseño de SK recomendados de acuerdo con la carga orgánica influente al filtro rociador.

Tabla 6.3 Tasas sugeridas de SK para brazos distribuidores.

Carga de DBO <sub>5</sub>	SK de diseño	SK de lavado
Kg/m <sup>3</sup> .d <sup>3</sup>	mm/pass	mm/pass
0.25	10-100	>200
0.50	150-150	>200
1.00	30-200	>300
2.00	40-250	>400
3.00	60-300	>600
4.00	80-400	>800
a = kg/m <sup>3</sup> .d x 62.4 = lb/d/1000 cu ft		
Fuente: Design of municipal wastewater treatment plants, volume i; 1992		

Inicialmente se selecciona un valor de SK, para calcular la velocidad de rotación de los brazos distribuidos y seleccionar el modo de operación ya sea hidráulico o mecánico. La ventaja de los sistemas mecánicos es que se puede graduar la velocidad de rotación independientemente del gasto con un motor de velocidad variable. Ya en la operación del filtro, se puede graduar la velocidad de rotación que les ofrezca la mejor eficiencia del proceso para cada planta.

El diseño incluye dos velocidades de rotación, la primera que será de operación normal y la segunda para hacer un lavado de la biomasa, los valores recomendados para SK de lavado se encuentran en la tabla 6.3, el lavado se recomienda una vez al día.



Fig. 6.11 Filtro rociador operando.

#### *Arranque del filtro.*

Es recomendable poner a funcionar los filtros percoladores nuevos (o los que han estado fuera de operación) durante el periodo comprendido entre los últimos días de abril y la primera semana de junio, dependiendo de las condiciones climáticas locales, esto se hace con el objeto de evitar el periodo de lluvias, los malos olores que se desprenden en verano y el bajo crecimiento bacteriano que se produce en el invierno.

Una vez que se ha comprobado el buen funcionamiento tanto del equipo mecánico como eléctrico, incluyendo sistemas de bombeo, el poner a funcionar la unidad es sumamente simple, basta con abrir la válvula que alimenta el filtro de aguas residuales y observar cuidadosamente el giro de los brazos del distribuidor, así como la correcta difusión del desecho sobre el medio filtrante.

Varias semanas deben de pasar para notar el desarrollo de la zooglea en el medio filtrante, durante este periodo de crecimiento se producirá un efluente indeseable; sin embargo, éste no debe clorarse si existe recirculación en el sistema.

*Operación normal del filtro.*

La zooglea está constituida por hongos, protozoarios y algas, además de innumerables bacterias. Con el tiempo, esta película llega a crecer debido a que parte del sustrato se transforma en nuevas células y la zooglea se vuelve pesada y gruesa, la cual contiene materia orgánica muerta producida por la labor de los diversos organismos que viven en el medio filtrante. Estos residuos se desprenden de vez en cuando, apareciendo en el líquido filtrado como humus. Este hecho se percibe en todos los filtros percoladores, especialmente en los localizados en regiones septentrionales durante la primavera.

Cuando la zooglea se encuentra muy crecida, el material acumulado dificulta la acción de las bacterias aeróbicas y reduce su eficiencia.

Entre las formas de vida macroscópica que se encuentra en los filtros percoladores cabe destacar un gran número de gusanos de tierra y acuáticos, lombrices de lodo, crustáceos y larvas de moscas.

En primavera, cuando se encuentra crecida la zooglea, se desprende junto con ésta, una cantidad considerable de gusanos; y en verano, si los filtros no están correctamente operados, se desarrolla un sin número de moscas del género *Psychoda*, llamadas “moscas de los filtros”. Estas moscas son tan pequeñas que pueden pasar a través de los mosquiteros que comúnmente se usan en las ventanas. No pican pero molestan bastante a los ojos, nariz, boca y oídos de los operadores y vecinos cercanos. Pueden ser transportados por el viento a distancias considerables, a pesar de que su radio de acción o desplazamiento es corto.

Las larvas de las moscas se desarrollan en un medio húmedo, pero no demasiado, y en consecuencia predominan más en los filtros de carga hidráulica lenta y normal alimentados intermitentemente que en los rápidos con dosificación continua.

La mosca *Psychoda* es un habitante natural de los filtros, su ciclo de vida varía de tres semanas (15º C), a una semana (30º C), se alimenta de los lodos de aguas residuales y de la zooglea, ayudando además al proceso de descomposición de la materia orgánica. Una cantidad excesiva de estas moscas indica que la vida biológica del filtro no está en equilibrio, debido posiblemente a una sobrecarga orgánica.

El control de la mosca en el filtro presenta muchas dificultades. Los adultos mueren con insecticida de uso frecuente tales como el DDT, el clordano, el lindano y otros, los cuales se han usado para eliminar plagas de un filtro infestado. Ninguno ha dado enteramente satisfactorios y al parecer el uso de insecticidas ha ocasionado la aparición de especies resistentes de este insecto. Se ha comprobado que lo mejor es emplear insecticidas en rotación, pero este tratamiento es costoso y se necesita un cuidado extremo para no suministrar dosificaciones altas que aniquilen toda la biota del medio filtrante, la cual es necesaria y deseable en el filtro; o bien dosis muy bajas que provoquen moscas resistentes.

En los filtros de tasa rápida no hay tanto desarrollo debido a que las larvas son arrastradas por la corriente de filtración junto con el desprendimiento de la zooglea. En los filtros de acción lenta o normal, las moscas se controlan por inundación o vaciamiento periódico, de acuerdo con el ciclo de vida de estos insectos.

Si el sistema de tratamiento consta de varias unidades filtrantes, el diseño debe contemplar la posibilidad de retirar una de ellas de servicio durante uno o dos días de la inundándola o dejando que se seque, de modo que el filtro opere en condiciones desfavorables para el desarrollo de la mosca.

A pesar de que cualquier de las medidas mencionadas puede proporcionar un alivio temporal, la única solución permanente contra las molestias que causa la mosca *Phychoda* consiste en determinar las causas de su excesiva reproducción y entonces aplicar las debidas acciones correctivas según el caso.

Como la operación de un filtro percolador depende de la biota que en él se genere, es evidente que cuando empieza a funcionar un filtro no existe una población adecuada de organismos en el medio filtrante. La generación de una zooglea adecuada es indispensable no únicamente en unidades nuevas, sino en aquellas que por haber estado mucho tiempo sin funcionar han ocasionado la muerte de los organismos por falta de sustento y agua. Por lo tanto debe evitarse que un filtro quede fuera de operación durante un periodo de tiempo muy grande.

#### *Actividades de operación.*

Para controlar el buen funcionamiento del filtro es indispensable verificar diariamente la observación del proceso, analizar las aguas residuales que entran, así como el agua de recirculación y el efluente

final. Un buen operador puede notar cambios en las unidades del proceso observando varios factores físicos, tales como variación en los caudales, niveles en los tanques, formación de espuma en el clarificador, apariencia del efluente, la forma de riego de las boquillas, la velocidad de rotación del distribuidor, el calor del medio filtrante y los olores que indican cambios en la forma en que se desarrolla el proceso biológico de tratamiento. Los cambios de cualquiera de estos factores requieren una investigación para identificar la causa y determinar la acción correctiva a seguir.

Una vez que se ha establecido un adecuado crecimiento de la zooglea se considera que la planta se encuentra en un “estado normal de operación” y se requiere de una pequeña rutina operacional para controlar el proceso.

#### *Problemas de operación.*

Aun cuando el proceso de filtros rociadores se considera uno de los tratamientos secundarios más libre de fallas, existen algunos problemas potenciales de fallas operativas.

La detección y corrección de los problemas incluye tres pasos:

Localizar el problema.

Identificar la causa del problema.

Aplicar las medidas correctivas apropiadas.

Hay que ser cuidadoso en la implantación de las medidas correctivas, para evitar que lo que aparentemente es un problema simple se convierta en síntoma de uno más complejo.

Debe considerarse que filtro rociador no es el único elemento del tratamiento, sino que es una parte del sistema integral del saneamiento donde cada parte está interrelacionada con las otras para producir un resultado exitoso.

Cuando hay problemas operativos, el operador debe examinar lo siguiente:

El manual de Operación.

El diseño y flexibilidad de operación de la planta.

Los resultados de la operación los días anteriores y la bitácora.

La posibilidad de que el problema pueda ser causado por ácidos, álcalis, aceite y otros materiales tóxicos presentes en residuos industriales.

Adelante se detallan los problemas más comunes y las medidas correctivas a implementar.

#### *Enlagunamientos.*

Los enlagunamientos en los filtros rociadores pueden ser causados por:

- a) La piedra u otro material del medio filtrante pueden ser muy pequeños o de tamaño no suficientemente uniforme.
- b) La piedra se intemperiza por efecto de temperaturas extremas, produciendo finos que colmatan los huecos.
- c) Los sedimentadores primarios operan mal, resultando un paso excesivo de SS en el influente al filtro.
- d) Excesivo desprendimiento de cultivo biológico tapando los vacíos del medio filtrante.
- e) La carga orgánica sobre el filtro es excesiva para la carga hidráulica.

#### *Prevención y eliminación del problema.*

- a) Rastrille o remueva las rocas de la superficie del filtro. No debe usarse equipo pesado sobre el medio filtrante.
- b) Lavar la superficie del filtro con chorros a presión.

- c) Parar el distribuidor sobre el área inundada y permitir un flujo continuo de agua negra.
  - d) Aplicar cloro en dosis altas (5 mg/L de cloro libre en el influente) por periodos de varias horas cada semana, preferentemente en la madrugada cuando se presentan bajos gastos para disminuir los consumos de cloro.
- El cloro es particularmente efectivo en el control de crecimiento de hongos con dosis tan bajas como 1 mg/L.
- e) Dejar el filtro fuera de servicio por un día o más para que se seque. Esto puede hacerse si hay suficiente flexibilidad en la planta para dejar fuera de servicio una unidad.
  - f) Si el filtro puede inundarse, dejarlo 24 horas lleno.
  - g) Reemplazar el medio filtrante si las otras medidas fallan. Puede ser más económico reemplazar un medio filtrante viejo que limpiarlo.

#### *Moscas de los filtros.*

Causas: La mosca de los filtros (*psychoda*) es una molestia frecuentemente asociada con la operación de los filtros. Por su tamaño puede pasar a través de mallas protectoras de ventanas y meterse en los ojos, boca y fosas nasales de las personas en contacto. Su rango de vuelo natural es de pocos metros (60-180 m) pero puede ser transportada más lejos por el viento. Su ciclo de vida varía 22 días a 60° C a 7 días a 29° C. La mosca se desarrolla en medios que alternadamente están húmedos y secos.

#### *Preparación y remedio.*

- a) Aplicar el agua al filtro continuamente, no intermitentemente.
- b) Remover crecimientos biológicos excesivos por procedimientos similares a los recomendados para evitar el enlazamiento del filtro.
- c) Inundar el filtro por 24 horas cada semana o cada dos semanas. Para que el procedimiento sea efectivo el filtro deberá inundarse a intervalos lo suficientes para evitar se complete el ciclo de vida de la mosca.
- d) Lavar vigorosamente la parte inferior expuesta de las moscas del filtro, esto se logra ajustando los extremos de los brazos para rociar el muro si los muros se mantienen mojados, la mosca no puede vivir.

- e) Mantener toda la planta limpia evitando la formación de sitios donde viva la mosca.
- f) Clorar las aguas negras aplicadas al filtro para producir cloro residual de 0.5 mg/L a intervalos suficientemente frecuentes para evitar la terminación del ciclo de vida de las moscas (intervalos de 1 semana a 2 semanas).
- g) Aplicar insecticidas a intervalos de 4 a 6 semanas. La aplicación de insecticidas no tiene efecto apreciable en la operación normal del filtro. Frecuentemente las moscas desarrollan inmunidad a ciertos insecticidas, si eso pasa, probar otro hasta encontrar uno efectivo considerando los efectos del insecticida en las aguas receptoras antes de considerar su aplicación.

*Olores.*

Causas: El proceso biológico de los filtros rociadores es básicamente aerobio, por lo que no deberían existir problemas serios con los olores producidos. La presencia de olores a “huevo podrido” es indicio de condiciones anaeróbicas.

*Prevención y remedios:*

- a) Mantener condiciones aeróbicas en todas las unidades, incluyendo tanques de sedimentación y sistemas de alcantarillado.
- b) Reducir acumulaciones de lodos y crecimientos biológicos.
- c) Clorar el influente al filtro por periodos cortos, preferiblemente cuando el gasto es bajo.
- d) Recircular a los filtros.
- e) Mantener buenas condiciones de limpieza en la planta.
- f) Limpiar los sistemas de drenaje de obstrucciones.
- g) Limpiar las ventilas del filtro.
- h) Aumentar ventilación con aire forzado en el sistema de drenaje.
- i) Reducir cargas orgánicas poco usuales muy concentradas que producen acumulaciones severas de sólidos en el filtro o causan enlagnamientos.

*Taponamiento de los orificios de los brazos distribuidores.*

Causas: El rociado no uniforme sobre el medio filtrante puede causar taponamientos reduciendo el área a la cual se aplica el agua con la consiguiente baja de eficiencia.

*Prevención y remedio.*

- a) Limpiar todos los orificios y lavar a presión los tubos ocasionalmente.
- b) Mejorar la eficiencia de los primeros para remover grasas y sólidos suspendidos.
- c) Mantener carga hidráulica apropiada sobre el filtro.
- d) Lubricar el distribuidor rotatorio de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

*Caracoles y musgos.*

Causa: Cualquiera de ellos o la combinación si es severa puede ocasionar enlagueamiento. Los caracoles en número limitado no afectan la operación del filtro, pero a causa de su naturaleza prolífica, pueden crecer considerablemente. Los organismos no son problema pero las conchas de los animales muertos pueden dañar el distribuidor, bomba y aun crear problemas en los digestores.

*Prevención y remedio*

- a) Clorar energéticamente (10 mg/L o más) para producir un cloro residual de 0.5 a 1 mg/L en el efluente del filtro para varias horas.
- b) Limpiar el filtro usando la máxima capacidad de recirculación.

*Evaluación de filtros rociadores por la EPA.*

De un estudio de más de 100 plantas de filtros rociadores, realizado por encargo de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, publicado en julio de 1978, se obtuvieron los siguientes hechos y conclusiones.

Capacidad del proceso.

- a) Las plantas de filtros rociadores, en su más simple combinación de procesos unitarios: cribado, desarenación, sedimentación y el filtro rociador con su sedimentador, son capaces de proporcionar un alto grado de tratamiento cuando se tiene una atención continua y razonable.
- b) Las plantas de filtros rociadores de un solo paso son capaces de remover un promedio de DBO<sub>5</sub> y sólidos suspendidos de 83%, con un máximo de 90% y mínimo de 60%. La probabilidad de remover más de 84% es del 90%.
- c) La remoción de DBO<sub>5</sub> en una planta de doble etapa, es mucho mejor que la obtenida en filtros de una sola etapa. El valor más probable de 20 plantas estudiadas fue de 90% de remoción, con 25 mg/L de DBO<sub>5</sub> en el agua tratada.
- d) La remoción de sólidos suspendidos en las plantas de doble etapa no mejora la obtenida con planta de una sola etapa, para ello se cuenta con el tratamiento de filtración.

Factores que afectan el funcionamiento.

- a) Las cargas hidráulicas y orgánicas de 76 plantas indicaron que el grado de remoción de DBO<sub>5</sub> y SS parece ser independiente de la magnitud de las cargas dentro del rango estudiado tanto para filtros de una o doble etapa.

Rango de carga hidráulica: 100 a 320 gal/día/pie<sup>2</sup> para plantas de una etapa. Para doble etapa la carga hidráulica fue mayor de ligera a media.

La carga orgánica fue de 100 a 60 lbs/100 x pies<sup>3</sup>.

- b) Temperaturas bajas.

Es de esperarse que durante el invierno se reduzcan las eficiencias de la planta.

c) Recirculación.

No se encontró una correlación entre el gasto circulado a los filtros y el aumento de remoción de DBO<sub>5</sub> y S.S.

Las plantas sin recirculación o muy bajos gastos trabajarán tan bien como aquellas con recirculación hasta de 3 veces el gasto del influente.

d) Tipo de medio filtrante.

Tanto los medios de roca y medio plástico proporcionan niveles similares de tratamiento, para iguales cargas por unidad de volumen de medio.

e) Cargas superficiales en los sedimentadores.

La información detallada de 23 plantas indicó una remoción similar de DBO y SS en plantas con cargas superficiales de 1000 GPD/pie<sup>2</sup> y más altas, comparadas con plantas con cargas superficiales de 500 GPD/pie<sup>2</sup>.

## **16.7 6.7 Mantenimiento y seguridad.**

### **16.7.1 6.7.1 Mantenimiento.**

El tratamiento de aguas residuales dentro de una comunidad, es parte fundamental en el control y prevención de la contaminación del agua y por otro lado constituye una alternativa de reúso muy importante, sobre todo en localidades donde el recurso agua es escaso. El mantenimiento y la operación de una planta de tratamiento, dentro de este esquema general, es indispensable para velar por su calidad y eficiencia.

La mayoría de las responsabilidades del operador dentro de una planta de tratamiento están enfocadas al buen funcionamiento de la misma, para lograr un efluente que cumpla con los requisitos establecidos. Para ello, deberá llevar a cabo un mantenimiento eficiente de la planta.

El mantenimiento mecánico del equipo es de suma importancia para lograr que la planta mantenga una eficiencia óptima. En este caso, el proveedor del equipo dará la información específica del mantenimiento de su equipo, la cual deberá ser revisada con mucho detenimiento por el operador y cualquier duda aclararla de inmediato.

El mantenimiento de edificios y áreas libres permite que la planta ofrezca una imagen agradable, tanto al operador como a los visitantes. También forma parte del programa, el mantenimiento de tanques y estructuras, ya que su buen estado es de vital importancia para ampliar la vida útil de una planta de tratamiento.

### **16.7.2 6.7.2 Importancia de un programa de mantenimiento.**

El mantenimiento es la labor de reparar o restaurar un equipo o instalación, para lograr los siguientes objetivos:

Obtener un eficiente y seguro rendimiento de la planta.

Prolongar su vida útil.

Reducir los costos.

Para ello, se deben realizar las siguientes actividades:

Mantener la planta limpia y ordenada.

Realizar un programa de revisión rutinaria del equipo.

Establecer un programa de lubricación.

Llevar los datos y registros de los equipos.

Realizar las reparaciones y cambios necesarios.

Cuidar las medidas de seguridad.

## **16.7.3 6.7.3 Clases de mantenimiento.**

### *16.7.3.1 6.7.3.1 Mantenimiento Preventivo.*

Es el conjunto de inspecciones e intervenciones periódicas y debidamente programadas, para evitar desperfectos y prolongar la vida del equipo.

Ejemplo. Programar y ejecutar el chequeo anual de un motor eléctrico, de acuerdo a normas técnicas específicas.

Actividades a realizar: limpieza de los embobinados y cambio de rodamientos.

Objetivo: evitar que el motor se queme al presentarse suciedad, aceite y humedad en sus embobinados, así como su operación con cojinetes dañados.

### *16.7.3.2 6.7.3.2 Mantenimiento Correctivo.*

Corresponde al conjunto de intervenciones no programadas, para efectuar reparaciones o cambios de emergencia, con el objeto de regresar el equipo o instalación a su estado operacional que tenía antes de detectarse la falla que lo sacó de operación.

Ejemplo: Embobinar el motor eléctrico de un equipo de bombeo, produciéndose con ello un paro forzoso e imprevisto.

Actividad a realizar: transportar el motor hasta un taller especializado para su reparación.

Objetivo: reparar el motor quemado a la brevedad posible, para reanudar el bombeo.

#### **16.7.4 6.7.4 Componentes de un programa de mantenimiento.**

El programa de mantenimiento de equipos, sistemas y edificios de una planta de tratamiento, tiene como objetivo principal la prevención de una falla o la prolongación de su vida útil, obteniendo de esta manera economía en su operación.

Para lograr la implantación y desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo, es necesario consultar al proveedor del equipo para hacer el diseño más adecuado del programa, el cual estará constituido por las formas de control y los recursos necesarios para llevarlo a cabo.

#### **16.7.5 6.7.5 Formas de control.**

Una forma adecuada de llevar a cabo un mantenimiento preventivo es por medio de registros. El operador no debe dejar a la memoria cuando ejecutará cada función de mantenimiento preventivo. Las tarjetas registradoras del servicio del equipo son fáciles de organizar, requieren poco tiempo de su revisión diaria.

La tarjeta de servicio del equipo debe llenarse para cada equipo de la planta y deberá contener los siguientes aspectos:

1. Nombre del equipo.
2. Lista del servicio de mantenimiento requerido con la frecuencia de realización.
3. Descripción del tipo de servicio que se efectuará.

La tarjeta de registro de servicio contendrá los siguientes aspectos con la firma del operador que realizó el servicio: fecha y trabajo realizado.

La tarjeta de servicio del equipo nos dice qué hacer y cuándo; mientras que la tarjeta de registro del equipo nos dice que se hizo y cuándo se hizo.

Necesidades de recursos.

Para poder llevar a cabo las labores de mantenimiento establecidas previamente en el programa, es necesario contar con recursos suficientes, como son: personal necesario, repuestos, herramientas, instrumentos de medida, etc.

Personal de mantenimiento.

El recurso humano es un aspecto de primordial importancia para cumplir con las labores de mantenimiento en forma eficiente, para ello se deberá contar con la cantidad de personal necesario y la capacidad y calidad del mismo. Un buen equipo de mantenimiento estará formado por un ingeniero, los técnicos mecánicos y los operadores que son los que realizan las actividades rutinarias como limpieza de equipo, ajuste de los prensa-estopas, etc.

#### *16.7.5.1 6.7.5.1 Programa de mantenimiento preventivo.*

Las partes móviles de una máquina o equipo siempre requieren mantenimiento. El mantenimiento puede ser requerido para reemplazar o reparar partes rotas que no han sido lubricadas o ajustadas adecuadamente. Sin embargo, es mucho más fácil aplicar un mantenimiento preventivo, esto es, mantener las partes del equipo lubricada y ajustadas en forma adecuada, para prevenir roturas o desgaste innecesario.

Se presenta una idea de las actividades que deben realizarse para llevar a cabo un programa de mantenimiento preventivo de los principales componentes de los equipos sujetos a mantenimiento; asimismo, se darán algunas recomendaciones del mantenimiento de edificios, áreas verdes, tanques y estructuras.

#### *16.7.5.2 6.7.5.2 Planeación del mantenimiento del filtro.*

La planeación del mantenimiento variará de planta a planta dependiendo de las características únicas de diseño y equipo instalado.

Resumen de las más comunes e importantes tareas del mantenimiento:

- Distribuidores rotatorios.
- Distribuidores de boquilla fijos.
- Medio filtrante.
- Sistemas de drenaje.
- Estructura de contención de medios.
- Bombas de filtro.
- Clarificador secundario.
- Equipo y accesorios.

#### **Distribuidores rotatorios.**

Observe diariamente el distribuidor. Asegúrese que la rotación es suave y que las boquillas del aerosol no están tapadas.

Lubricar los baleros del soporte principal y cualquier guía o baleros estabilizadores según las instrucciones del fabricante. Cambiar periódicamente el lubricante, normalmente dos veces al año. Si los baleros son lubricados con aceite, verificar el nivel de aceite, semanalmente drenar lo condensado, y agregar aceite como se necesite.

Mida la velocidad rotacional del distribuidor en una o más velocidades de flujo. Registrar y clasificar los resultados para comparaciones futuras. Un cambio en la velocidad de flujo indica baleros afectados.

Enjuagar mensualmente los brazos del distribuidor abriendo las puertas cortadas o reborde ciego para remover la basura. Drenar los brazos si se para en tiempo de frío para prevenir daños por las heladas.

Limpiar semanalmente los orificios con corriente de agua a alta presión o piezas de gancho de alambre.

Mantener las tuberías de ventilación de los brazos del distribuidor libre de hielo, grasa, y sólidos. Limpiar de la misma manera los orificios de los brazos del distribuidor. Las Bolsas de aire se formarán si las ventilas están tapadas. Las bolsas de aire se formarán en cargas hidráulicas irregulares en el filtro, y en cargas no uniformes y usos excesivos de los baleros del soporte del distribuidor.

Asegúrese que los brazos del distribuidor estén nivelados. Para mantener el nivel, el alambre de tipo vertical debería ser utilizado durante el verano y retirar durante el invierno para ajustar la varilla empataada tipo alambre. Mantener los brazos en la orientación horizontal correcta mediante el ajuste de la varilla empataada de forma horizontal.

Verificar periódicamente los sellos del distribuidor y, si es pertinente, la tubería del influente del conjunto de expansión del distribuidor para evitar fugas. Remplace si es necesario. Cuando remplace, verifique las placas de sello en uso y remplace si el desgaste es excesivo. Algunos sellos deberían mantenerse sumergidos incluso si el filtro está parado o si su vida será severamente acortada.

Remover el hielo de los brazos del distribuidor. La acumulación de hielo provoca cargas no uniformes y reduce la vida del balero principal.

Pintar el distribuidor según lo necesitado para protegerlo de la corrosión. Cubrir los baleros cuando se aplica chorros de arena, para protegerlos de la contaminación. Verificar el aceite drenándolo un

poco a través un abastecedor de nylon después del chorro de arena. Pulir los brazos del distribuidor para proteger los baleros si se soldó el distribuidor y se detuvo el mecanismo de la transmisión del panel eléctrico principal. Ajustar las presas de sobre flujo del brazo secundario y la cazuela de prueba de la distribución de aguas residuales en el filtro como sea necesario.

#### **Distribuidores de boquilla fijos.**

Observar diariamente el diseño de los aerosoles. Destape las boquillas bloqueadas incrementando la carga hidráulica o manualmente. Enjuague mensualmente los cabezales y los laterales, abriendo a tope las placas. Ajuste la boquilla liberando la tensión como se requiera.

#### **Medio filtrante.**

Observar diariamente las condiciones de la superficie del medio filtrante. Remueva las hojas, sólidos grandes y plásticos, bolas de grasa, listón de madera roto o medios plásticos y otros desechos. Si la acumulación es evidente, encontrar y eliminar la causa. Mantener las tuberías de ventilación abierta, remueva la basura acumulada. Almacene los medios plásticos extra fuera de los rayos del sol para prevenir daños, debido a los rayos ultravioleta. Observe los medios para asentamientos. Después serán instalados, asentados los medios de su propio peso y el peso de la biopelícula y el agua atribuida a esta superficie. La instalación debería ser uniforme y se debería estabilizar después de pocas semanas. La instalación total es típicamente menos que 1ft (0.3 m) para medios plásticos aleatorios, menos para medios de hoja plástica, y casi cero para roca. Si la instalación no es uniforme o excesiva, remueva alguno de los medios para la inspección.

#### **Sistemas de drenaje.**

Lavar periódicamente con agua si es posible. Remover la basura de los canales del efluente.

#### **Estructura de contención de medios.**

Mantenga el aerosol contra la pared interior del filtro para prevenir la infiltración de moscas al filtro y para prevenir la acumulación de hielo en el invierno.

Realizar un buen mantenimiento. Mantener la fibra de vidrio, concreto, o acero fuera de las paredes limpias y pintadas, si es pertinente. Conservar corto el pasto alrededor de las estructuras y remover lo desyerbado y arbustos altos para ayudar a prevenir moscas en el filtro y otra infestación de insectos. Recuerde, el uso de insecticidas alrededor de las unidades de tratamiento puede resultar efectos desfavorables en la calidad del agua o de las unidades de tratamiento biológico.

#### **Bombas de filtro.**

Verificar diariamente que los empaques o sellos mecánicos estén libres de fugas. Ajustar o reemplazar como sea necesario. Lubricar bomba y baleros del motor de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Mantener el motor de la bomba tan limpio y seco como sea posible. Verificar periódicamente los manguillos del eje, anillos usados, e impulsores por usar; reparar o reemplazar como sea necesario. Realice el mantenimiento de reductores de velocidad, coples, otras partes y equipos de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

#### **Clarificador secundario.**

Lubricar los baleros del motor de la transmisión, engranaje del reductor de velocidad, cadenas de la transmisión, las catarinas y baleros del soporte principal para el equipo de recolección de lodos de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Limpie diariamente las natas y fuentes de grasa. Limpiar semanalmente las canaletas del efluente y mamparas por lo menos semanalmente. Pintar o proteger el equipo de la corrosión, según lo requerido.

#### **Equipo auxiliar.**

Mantener las tuberías, válvulas, sopladores de aire forzado y otros equipos auxiliares de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

#### **Distribuidor de baleros.**

El distribuidor de baleros generalmente se encuentra en un baño de aceite, como se indica en la sección mostrada en la figura. El aceite, especificado generalmente por el fabricante, es seleccionado para prevenir la oxidación y corrosión, además de minimizar la fricción. Como el nivel y la condición del aceite son cruciales para la vida del equipo, necesitan una verificación periódica de acuerdo con las recomendaciones del fabricante (generalmente semanal). Un procedimiento común es checar el aceite drenándolo a un contenedor limpio. Si el aceite está limpio y libre de agua, este es regresado a la unidad. Si el aceite está sucio, este es drenado y rellenado con una mezcla de aproximadamente una parte de aceite y tres partes de solvente (como el queroseno). Entonces el distribuidor es operado durante unos minutos, la mezcla entonces es drenada, y el distribuidor es rellenado con el aceite limpio.

Si se encuentra agua en el aceite, entonces ni los fluidos del tapón son bajos o las juntas en los tapones mecánicos requieren reemplazo.

#### **16.7.6 6.7.6 Seguridad en la planta.**

Todas las plantas de tratamiento, sin importar el tamaño, deberán contar con un programa que incluya los elementos básicos para la prevención de accidentes. Un programa de seguridad es una forma administrativa que trata de asignar responsabilidades para la prevención de accidentes y lograr en esta forma un mejor rendimiento en la planta. La seguridad de una planta debe ser incluida desde el diseño del proceso y dentro de cada operación de producción y mantenimiento.

La prevención de accidentes sólo se logra con un buen control del ambiente de trabajo y del cumplimiento del empleado. El jefe de la planta será el responsable de implementar el programa de seguridad, el cual debe asegurar las responsabilidades de supervisión, entrenamiento y deberá mantener las condiciones seguras de trabajo. El programa de seguridad también deberá incluir actividades de servicio médico y primeros auxilios, así como un registro de accidentes y la investigación de éstos.

#### *16.7.6.1 6.7.6.1 Recomendaciones de seguridad.*

Cualquier equipo con partes móviles y eléctricas, deberá ser considerado potencialmente peligroso. Es muy importante que al parar un equipo el botón de arranque sea etiquetado, donde se diga el trabajo que se está realizando o el porqué del paro.

a) Un equipo con movimiento lento, aparentemente no es peligroso, tal es el caso de un sistema de rastras, donde la velocidad con que gira el brazo es muy baja, sin embargo las partes móviles del equipo, como son, corona dentada, cadena, poleas de la banda y bandas, pueden causar serios accidentes si se meten las manos o brazos, por lo que los guardas de seguridad siempre deben estar colocados sobre estas partes del equipo.

b) La instalación eléctrica debe ser revisada periódicamente para corregir fallas que pueden ser peligrosas, tales como conexiones flojas, cables pelados, etc. Si es necesario parar algún equipo para reparar estas fallas, no olvide poner una etiqueta de advertencia.

c) Se debe tener mucho cuidado cuando se trabaja en áreas resbalosas, pues cualquier falla puede ser motivo de un serio accidente. Los derrames de aceites y grasas deben ser limpiados inmediatamente. Si las cubiertas sobre los biodiscos abarcan el suficiente espacio que cubran los posibles (andenes), la humedad que se condensa en las superficies de las cubiertas, puede crear espacios resbalosos.

d) Siempre que se trabaje con aguas residuales se deberá tener cuidado por el contagio de infecciones y enfermedades, sobre todo si el agua es de origen doméstico. Después de realizar cualquier trabajo sobre algún equipo de la planta, es indispensable lavarse las manos, antes de fumar o comer. El operador deberá llevar, como regla general, una higiene personal estricta, para evitar su contagio y el de otras personas que convivan con él.

Al trabajar con distribuidores se puede proceder solo después de que los brazos han sido detenidos y bloqueados, y el interruptor de la electricidad de la bomba del distribuidor ha sido desconectado y bloqueado el panel de la electricidad. Si es posible, evite caminar en medio del filtro porque puede

estar resbaloso. La rejilla de plástico es a menudo colocada como una superficie para caminar y proveer accesos seguros al distribuidor.

## 16.8 6.8 Problemas comunes y acciones correctivas.

Tabla 6.4 Problemas y acciones correctivas para filtros rociadores.

Problema/posible causa	Acción correctiva
<b>Operaciones</b>	
<b>Incremento de sólidos suspendidos en el efluente del clarificador secundario.</b>	
Sobrecarga hidráulica en el clarificador.	Comprobar que el clarificador no se desborde por la superficie. Si es posible, reduzca el flujo del clarificador a menos de 900 gal/día sq ft (35 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·día) reduciendo la recirculación o poniendo en servicio un clarificador adicional.  Amplíe la planta.
Desnitrificación en clarificador.	Aumente el gasto de retiro del lodo del clarificador.  Incrementar la carga en el filtro rociador para prevenir la nitrificación. Desnate el lodo flotante de la superficie entera del clarificador o use aerosoles de agua para liberar gas nitrógeno del lodo a lodo que el restablecimiento.
Lodazales excesivos en el biofiltro debido a los cambios en las aguas residuales.	Aumente el gasto de retiro del lodo del clarificador.  Comprobar en las aguas residuales si hay presencia de materiales tóxicos, cambios en el pH, temperatura, BOD, u otros componentes.  Identificar y eliminar la fuente que causa trastorno en las aguas residuales.  Haga cumplir el uso ordinario de la alcantarilla.
Mal funcionamiento del equipo en el clarificador secundario.	Verificar el equipo para ver si está roto el sistema de recolección de lodo y repararlo o reemplazarlo.
Corto circuito en el flujo a través del clarificador secundario.	Nivelar los vertederos del efluente.  Instalar la salida del tubo central del clarificador, mamparas, mamparas-vertederos del efluente, u otras mamparas para prevenir el corto circuito.

Problema/posible causa	Acción correctiva
<b>Incremento en el efluente BOD del clarificador secundario.</b>	
Aumento de sólidos suspendidos en el efluente.	Ver acciones correctivas para "Aumento de sólidos suspendidos en el efluente del clarificador secundario".
Cargas orgánicas excesivas en el filtro	<p>Calcule la carga.</p> <p>Reduzca la carga poniendo más biofiltros en servicio.</p> <p>Incremente la eliminación de BOD en tanques de colocación primaria usando todos los tanques disponibles y minimizando el almacenaje de tanques de lodo primario.</p> <p>Elimine las corrientes laterales de alta resistencia dentro de la planta</p> <p>Amplíe la planta.</p>
Crecimiento biológico indeseable en el medio.	<p>Realice una examinación microscópica del crecimiento biológico.</p> <p>Trate el filtro con cloro para matar el crecimiento indeseable.</p>
<b>Olores desagradables del filtro.</b>	
Carga orgánica excesiva causada de la descomposición anaeróbica en el filtro.	<p>Calcule la carga.</p> <p>Reduzca la carga poniendo más biofiltros en servicio.</p> <p>Incremente el retiro de BOD en tanques de sedimentación primaria usando todos los tanques disponibles y minimizando el almacenaje de tanques de lodo primario.</p> <p>Conserve las condiciones aeróbicas en las unidades de tratamiento del sistema.</p> <p>Haga cumplir la legislación de la disposición de la basura industrial, si la industria es fuente de exceso de carga.</p> <p>Amplíe la planta.</p>
Ventilación insuficiente	<p>Aumente la carga hidráulica para eliminar el exceso de crecimiento biológico.</p> <p>Remover la basura de los canales del efluente del filtro y de los sistemas de drenaje.</p> <p>Remover la basura de los medio del filtro.</p>

	<p>Destapar las tuberías de ventilación.</p> <p>Reducir las cargas hidráulicas si los sistemas de drenaje están inundados.</p> <p>Instalar ventiladores para inducir la transferencia en el filtro.</p> <p>Compruebe taponamientos en el filtro causados por la biomasa en los medios.</p>
<b>Acumulación en medios filtrados.</b>	
Crecimiento biológico excesivo.	<p>Reduzca la carga orgánica.</p> <p>Incrementar la carga hidráulica.</p> <p>Regar la superficie del filtro con agua con corriente de alta presión.</p> <p>Clorar el influente al filtro por varias horas. Manteniendo de 1 a 2 mg/L de cloro residual en el filtro.</p> <p>Inundar el filtro por 24 horas.</p> <p>Cerrar el filtro hasta que los medios estén secos.</p> <p>Haga cumplir la legislación de la descarga industrial, si la industria es fuente de carga excesiva.</p>
Medios pobres.	Reemplace los medios
Escaso mantenimiento	Remover la basura de la superficie del filtro, tuberías de ventilación, sistemas de drenaje, y canales del efluente.
<b>Filtro de moscas (psychoda)</b>	
Humedad insuficiente en el medio filtrante (un ambiente continuamente húmedo no es conducente a la crianza de moscas en el filtro y una tasa alta de humedad lavará los huevos de mosca del filtro).	<p>Aumente la carga hidráulica.</p> <p>Destape los orificios o boca de los aerosoles.</p> <p>Utilice la abertura del orificio en el extremo rotando los brazos del distribuidor para rociar las paredes de filtro.</p>
El ambiente propicia la crianza de la mosca en el filtro.	<p>Inundar el filtro por varias horas cada semana durante la temporada de moscas.</p> <p>Clorar el filtro por varias horas cada semana durante la temporada de moscas. Mantener de 1 a 2 mg/L de cloro residual en el filtro.</p>

Escaso mantenimiento de áreas verdes	Mantener el área alrededor del filtro cegada. Quite las malas hierbas y los arbustos.
<b>Formación de hielo.</b>	
Baja temperatura en las aguas residuales.	<p>Disminuir la recirculación.</p> <p>Remueva el hielo de los orificios, tubos de salida, y los brazos del distribuidor por medio de agua con corriente de alta presión.</p> <p>Reducir el número de filtros en servicio, proporcione los límites del efluente que pueda encontrar.</p> <p>Reduzca el tiempo de retención en tratamientos previos y unidades de tratamiento primario.</p> <p>Construir barrera rompe vientos (árboles)</p>
<b>Problema/posible causa</b>	<b>Acción correctiva</b>
<b>Mantenimiento</b>	
<b>Rotación del distribuidor a velocidad lenta o paros.</b>	
Flujo insuficiente para dar vuelta al distribuidor.	Incrementar la carga hidráulica.
Tapar los brazos o los orificios.	<p>Enjuague los brazos abriendo las placas. Enjuague los orificios.</p> <p>Remover los sólidos del influente de agua residual.</p>
Tubería de ventilación tapada.	<p>Remover el material de la tubería de ventilación con un gancho o por chorro de agua.</p> <p>Remover los sólidos del influente de agua residual.</p>
Daño en el balero principal	Reemplazar el balero.
Los brazos del distribuidor no están nivelados.	Ajustar el alambre individual con ataduras de ganchos.
Los ganchos del distribuidor golpean los medios.	<p>Nivelar los medios.</p> <p>Remover algún medio.</p>
<b>Suciedad en el aceite lubricador del balero principal.</b>	
El sello del balero está gastado.	Reemplace el sello.

El sello de tornamesa está desgastado.	Reemplace el sello. Examine la placa de sello y reemplace si está gastada.
Condensar regularmente lo no drenado o mantenga bajo el nivel de aceite.	Verificar el nivel de aceite, drene el condensado, y rellene si es necesario.
<b>Fuga de agua en la base del distribuidor.</b>	
Sello de tornamesa gastado.	Reemplazar el sello.
Fuga en la junta de expansión entre el distribuidor y la tubería del efluente.	Reparar o reemplazar la junta.
<b>Medios superiores quebrados.</b>	
Material ajeno.	Limpiar con agua limpia a corriente de alta presión.  Sacar la barra con el alambre o el gancho.  Desmonte y limpie.
<b>Paro en el colector de lodo del clarificador secundario.</b>	
Exceso en el ajuste de sobrecarga del esfuerzo de torsión.	Reducir la manta de lodos, retirando el exceso de lodos.  Verificar si la porción desnatadora del colector está colgada en el canal de espuma. Liberar y reparar o ajustar la desnatadora.  Drenar el tanque y remover los objetos ajenos.
Pérdida de energía.	Reajuste el interruptor de circuito de la unidad de transmisión, si esta disparado (después del disparo es identificado y corregido).
	Reajuste la unidad de transmisión, centro de control del motor, o interruptores del circuito principal de la planta como sea necesario en lo que la energía es restaurada en la planta, después de la interrupción.  Verificar el motor de la transmisión para drenados comunes excesivos. Si son excesivamente comunes, determine la razón.  Verificar la sobrecarga transmitida por la transmisión del motor. Reemplácelo si está dañado o si está más pequeño de lo normal.
Falla en la unidad de transmisión.	Verifique las cadenas la transmisión y los alfileres de corte. Reemplace si es necesario y use la medida apropiada o un daño podría ocurrir.

	<p>Verifique y reemplace aparejos gastados, coples, reductores de velocidad, o baleros como sea necesario. Lubricar y proveer un mantenimiento preventivo para las unidades según las instrucciones del fabricante.</p>
<p><b>Las bombas de recirculación liberan un flujo insuficiente.</b></p>	
<p>Cabezal excesivo.</p>	<p>Abra las válvulas cerradas o estranguladas.</p> <p>Desconecte los brazos del distribuidor, cabezales, y laterales.</p> <p>Destape los tubos de salida y orificios del distribuidor.</p> <p>Destape las líneas de ventilación del distribuidor.</p>
<p>Mal funcionamiento de la bomba.</p>	<p>Ajuste o reemplace los paquetes o sellos mecánicos.</p> <p>Ajustar el impulsor.</p> <p>Reemplace o renueve las mangas del eje gastado.</p> <p>Verificar el impulsor de sólidos usados y enredados. Remover los desechos. Reemplace el impulsor si es necesario.</p> <p>Verificar la bomba para saber si hay aire encerrado.</p> <p>Libere el aire atrapado.</p> <p>Lubricar los baleros según las instrucciones del fabricante.</p> <p>Reemplace los baleros gastados.</p>
<p>Falla del motor impulsor de la bomba.</p>	<p>Lubricar los baleros según las instrucciones del fabricante.</p> <p>Reemplace los baleros gastados.</p> <p>Mantener el motor tan limpio y seco como sea posible.</p> <p>Bomba y motor desalineado. Verificar la vibración y la alineación.</p> <p>Rediseñar si es necesario.</p> <p>Quema de bobinas. Rebobinar o reemplazar el motor.</p> <p>Verificar la transmisión del motor de drenados excesivos. Si el drenado actual es excesivo, determine causa.</p> <p>Verifique la sobrecarga de los relevadores de la transmisión del motor. Replácelo si está dañado o si está más pequeño de lo normal.</p> <p>Reajuste el motor de la transmisión, centro de control del motor, o interruptores del circuito principal de la planta, después de que el origen</p>

---

	del tropiezo es identificado y corregido mientras la energía es restaurada después de la interrupción.
--	--







## 17. BIBLIOGRAFÍA

Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Tercera edición. 2000.

APHA, AWWA & WEF, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Washington D.C, APHA, 10-157 pp.

Cardoso, V.L. E. Ramírez C. "Vermiestabilización de Lodos Residuales". XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS y ABES, Puerto Alegre, Brasil, 3 al 8 de Diciembre de 2000.

Estadísticas del Agua en México, 2003 / Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, CNA, México, Edición 2003.

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Manual de Tratamiento de Aguas Negras, Ed Limusa, México, 1989, 303 pp.

Eckenfelder, W. Wesley, Activated Sludge Process Design and Control: Theory and Practice, USA, 1988.

G. Moeller, et. al. Curso Teórico-Práctico de Tratamiento de Lodos Residuales. Material Tecnológico. Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Junio 2003.

Hammer, M. J., Water and Wastewater Technology. John Willey and Sons, Inc., New York, 1997.

Horan, N.J., Biological Wastewater Treatment Systems. John Wiley and Sons, Ltd, West Sussex, England, 1990.

Junkins, R., Deeny K., Eckhoff, T., The Activated Sludge Process, Ann Arbor Science Publishers, West Cherter, Pensilvania, 1983.

LeFranc, R., Las Técnicas Audiovisuales, El Ateneo, S.A., Buenos Aires, 1978.

Mandt, M. and Bell, B., Oxidation Ditches in Wastewater Treatment, Ann Arbor Science Publishers Collingwood, Michigan, 1982.

Manual de Operación y Mantenimiento de Sistemas Lagunares, Tecnología Ambiental y Construcciones, S.A. de C. V., Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1996

México, 1997, Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales, Diario Oficial de la Federación 6 de enero de 1997, pp 38-85.

Middlebrooks, E. J., Industrial Pollution Control, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1979.

Moeller, Ch. G. y Freat T.C., Microbiología Sanitaria (Manual de Prácticas), Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Postgrado. UNAM, 1993.

Pardiñas, F., Metodología y Técnicas de Investigación en Ciencias Sociales, Siglo XXI, Editores, S.A., México, D.F.

Richard, M. G., Activated Sludge Microbiology, Aspen Printing Rockville, Maryland, 1991.

Tchobanoglous G. y Schroeder Edward D., Water Quality, Addison-Wesley Publishing Company, University of California at Davis, 1987.

Water Pollution Control Federation, Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants, Alexandria, VA. 1990.

Water Pollution Control Federation, O&M of Trickling Filters, RBCs, and related processes, Alexandria, VA. 1988.

Water Pollution Control Federation Environment Canada, Wastewater treatment Skill Training Package Activated Sludge, Richelieu Graphics Hull, Quebec, Canada, 1980.

Water Pollution Control Federation, Clarifier Desing, Lancaster Press, Lancaster, Pennsylvania, 1985.

Water Pollution Control Federation, Activated Sludge, Alexandria, Virginia, 1988.

Water Pollution Control Federation and the American Society of Civil Engineers, Aeration, New York, 1988.

Water Pollution Control Federation, Operation of Municipal, Watewater Treatment Plants, imperial Printing Co. St. Joseph, Michigan, 1990.

Water Pollution Control Federation, Wastewater Biology: the Microlife, imperial Printing Co. St. Joseph, Michigan, 1991.

Water Environment Federation and the American Society of Civil Engineers, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, Book Press, Inc. Battleboro, Vermonto 1992.

---

Water Pollution Control Federation, Operation of Extended Aeration Package Plants, Automated Graphics Systems, Inc., Washington, D.C. 1985.

Water Pollution Control Federation, Operating Activated Sludge Using Oxygen Uptake, U.S.A., 1989.

Wilson, F., Desing Calculations in Wastewater Treatment, Chaucer Press, Ltd., England, 1981.







































