

# SERIE AUTODIDÁCTICA DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA



## IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS PRIMARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**Autor:** César G. Calderón Mólgora

**Revisor IMTA:** Violeta Escalante Estrada

**Revisores CNA:** Miriam Beth Arreortúa Cosmes  
Luis Miguel Rivera Chávez

**Editor:** César G. Calderón Mólgora

©Comisión Nacional del Agua, CNA  
©Instituto Mexicano de Tecnología  
del Agua, IMTA

Edita:

La Gerencia de Recaudación y Control de la Subdirección General de Administración del Agua.  
Comisión Nacional del Agua.

La Coordinación de Tecnología Hidráulica.  
Instituto Mexicano de Tecnología del agua.

Imprime:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

ISBN 968-7417-86-2

## **PARTICIPANTES**

En la realización de este documento, colaboraron : Especialistas del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA y de la Subdirección General de Administración del Agua, CNA

**Autor:**  
**César G. Calderón Mólgora.**

**Revisor IMTA:**  
**Violeta E. Escalante Estrada.**

**Revisores CNA:**  
**Miriam Beth Arreortúa Cosmes.**  
**Luis Miguel Rivera Chávez.**

**Editor:**  
**César G. Calderón Mólgora.**

**Corrector de estilo:**  
**Antonio Requejo del Blanco.**

**Diseño:**  
**Mayra Leticia Navarrete Morales .**

**Ilustraciones:**  
**Eduardo Rodríguez Martínez.**

Para mayor información dirigirse a:

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA-  
SUBGERENCIA DE INSPECCIÓN Y  
MEDICIÓN.

Ing. Roberto Merino Carrión

Insurgentes Sur N°1960, 1<sup>er</sup> piso, Colonia Florida C.P. 01030, México D.F.  
Tel. 01(55) 53-22-24-00 ext. 6607  
Fax ext. 6608

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA.  
SUBCOORDINACIÓN DE CALIDAD  
E HIDRÁULICA INDUSTRIAL.

M.I. Marco Antonio Toledo Gutiérrez  
[matoledo@tiaaoc.cna.mx](mailto:matoledo@tiaaoc.cna.mx)

Paseo Cuauhnáhuac N° 8532, Colonia Progreso, CP. 62550, Jiutepec, Morelos.  
Teléfono y Fax 01(777)3-20-87-25.

Derechos reservados por Comisión Nacional del Agua, Insurgentes Sur N° 2140, Ermita San Ángel; C.P. 01070, México D.F. e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac N° 8532, Colonia Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.

Esta edición y sus características son propiedad de la Comisión Nacional del Agua y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
PREFACIO	I
¿PARA QUIÉN? ¿PARA QUÉ? Y EVALÚA SI SABES	II
1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO	1
RESUMEN	9
AUTOEVALUACIÓN	9
2. EQUIPO E INSTALACIONES DEL TRATAMIENTO PRIMARIO	10
RESUMEN	24
AUTOEVALUACIÓN	24
3. TIPO DE CONTAMINANTES QUE REMUEVEN LOS SISTEMAS PRIMARIOS Y LAS EFICIENCIAS DE REMOCIÓN	26
RESUMEN	27
AUTOEVALUACIÓN	27
4. TRATAMIENTO FISCOQUÍMICO	28
RESUMEN	34
AUTOEVALUACIÓN	34
BIBLIOGRAFÍA	36
GLOSARIO	37
RESPUESTAS A LAS AUTOEVALUACIONES	39
ANEXO	

## PREFACIO

La Comisión Nacional del Agua (CNA), órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), tiene la atribución de administrar y custodiar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes. Como parte de la estrategia de la CNA para preservar la calidad de las aguas nacionales, la Subdirección General de Administración del Agua, en colaboración con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) ha editado la primera parte del *Paquete Autodidáctico para Medición de la Calidad del Agua*, que tiene como objetivo capacitar al personal que realiza visitas de inspección, a fin de que la toma y conservación de muestras de agua residual se realice de manera confiable, de forma segura y sin vicios técnicos que pudieran invalidar la visita, así como proporcionarle los principios para identificar y describir los diversos sistemas empleados para el tratamiento del agua residual.

Esta primera parte, consta de ocho unidades que se elaboraron con la finalidad de presentar los procedimientos de manera sintética, amena y sencilla, de tal manera que además de ser manuales de capacitación, sirvan como guías de referencia rápida que unifiquen los criterios en la aplicación de los procedimientos descritos y en la identificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

La unidad inicial, denominada *Fundamentos Técnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales*, contiene conceptos básicos sobre contaminación del agua y los requisitos necesarios para llevar a cabo un muestreo conforme a lo estipulado en la NOM-001-ECOL-1996; las siguientes unidades se derivan de ésta, y por ello es recomendable que el usuario de esta serie inicie la autocapacitación con dicha unidad.

La segunda, tercera y cuarta unidad se refieren al muestreo y preservación de contaminantes específicos, así como a las determinaciones en campo (pH, temperatura y materia flotante).

La quinta unidad, llamada *Aforo de Descargas* aborda las técnicas más adecuadas para cuantificar el caudal del agua residual descargada, de acuerdo a las diversas condiciones que puedan presentarse en campo.

La sexta unidad, plantea los procedimientos de seguridad e higiene que los inspectores deben observar durante el desarrollo del muestreo, a fin de asegurar su integridad física y la de la muestra.

Finalmente, las dos unidades restantes se enfocan a la descripción de los principios de funcionamiento de los sistemas primarios y secundarios de tratamiento de aguas residuales, de tal forma que el inspector pueda detallar en el acta los equipos que observa.

Cada unidad cuenta, con una presentación en disco compacto para PC (CD ROM), que resalta los aspectos más importantes señalados en el texto y se apoya en fotografías e ilustraciones adicionales que refuerzan los conceptos planteados.



# IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS PRIMARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

## ¿Para quién?

Este manual se dirige a los especialistas técnicos de las brigadas de inspección y verificación, quienes se encargan del muestreo de las descargas de los usuarios en aguas nacionales.

## ¿Para qué?

Este manual se elaboró con el fin de proporcionar al usuario los fundamentos para describir el principio de funcionamiento de los sistemas físicos y fisicoquímicos de tratamiento de aguas residuales, así como para identificar los diferentes procesos mediante los cuales se lleva a cabo el tratamiento primario.

## Evalúa si sabes

¿Qué es un sistema de tratamiento?

¿Cuáles son los diferentes tipos de sólidos asociados con las aguas residuales ?

¿En qué consiste el pretratamiento y qué equipo o instalación se requiere para este?

¿Qué contaminantes remueven los sistemas primarios?

## 1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO

Al término de esta unidad el participante será capaz de diferenciar los tipos de sólidos presentes en el agua residual, y de describir las fuerzas que actúan para la remoción de contaminantes en un sistema primario de tratamiento.

En el manual *Fundamentos técnicos para el muestreo de aguas residuales*, se definió al agua residual como "Agua de composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos y, en general, de cualquier otro uso, que por su naturaleza no puede utilizarse nuevamente en el proceso que la generó y, al ser vertida en cuerpos receptores, puede implicar una alteración a los ecosistemas acuáticos o afectar la salud humana". Así, el agua residual no es apta para ser reusada a menos que reciba un tratamiento.

El tratamiento del agua residual consistirá en remover, tanto como sea posible, las sustancias o condiciones que impiden su aprovechamiento. La

forma en que dichos contaminantes se encuentran en el agua determina el tipo de tratamiento a utilizar; una parte importante de los contaminantes es la materia sólida en suspensión y ésta puede ser removida mediante los sistemas primarios. A continuación explicaremos los distintos tipos de sólidos asociados con el agua residual.

### 1.1 Sólidos totales

La Norma Mexicana NMX AA 34-2001 define los sólidos totales como la suma de los sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales. La diferencia entre este tipo de sólidos está dada por el tamaño de partícula (figura 1.1).

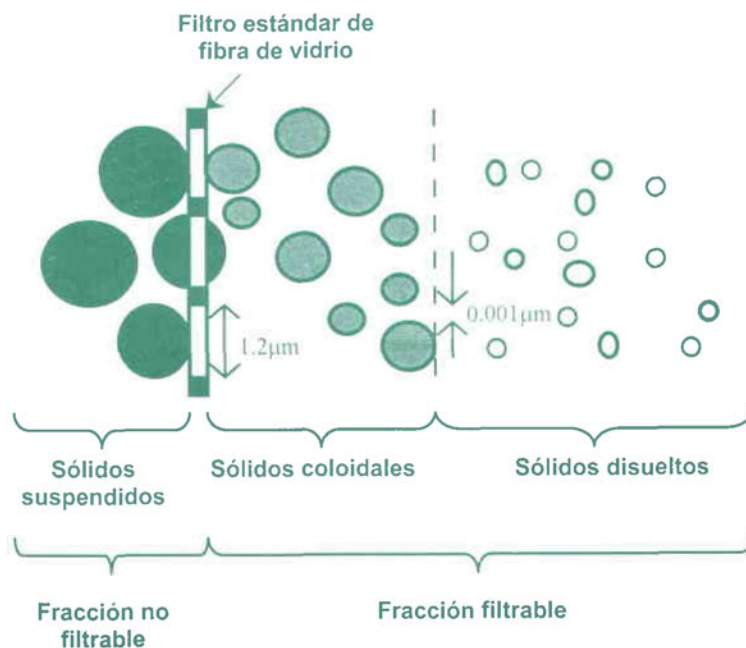


Figura 1.1 Dimensiones de los sólidos suspendidos, coloidales y disueltos. (Fuente: adaptado de Metcalf & Eddy, 1990).

Con el fin de aclarar estos conceptos utilizaremos el diagrama de flujo del procedimiento analítico para la determinación de sólidos (figura 1.2).

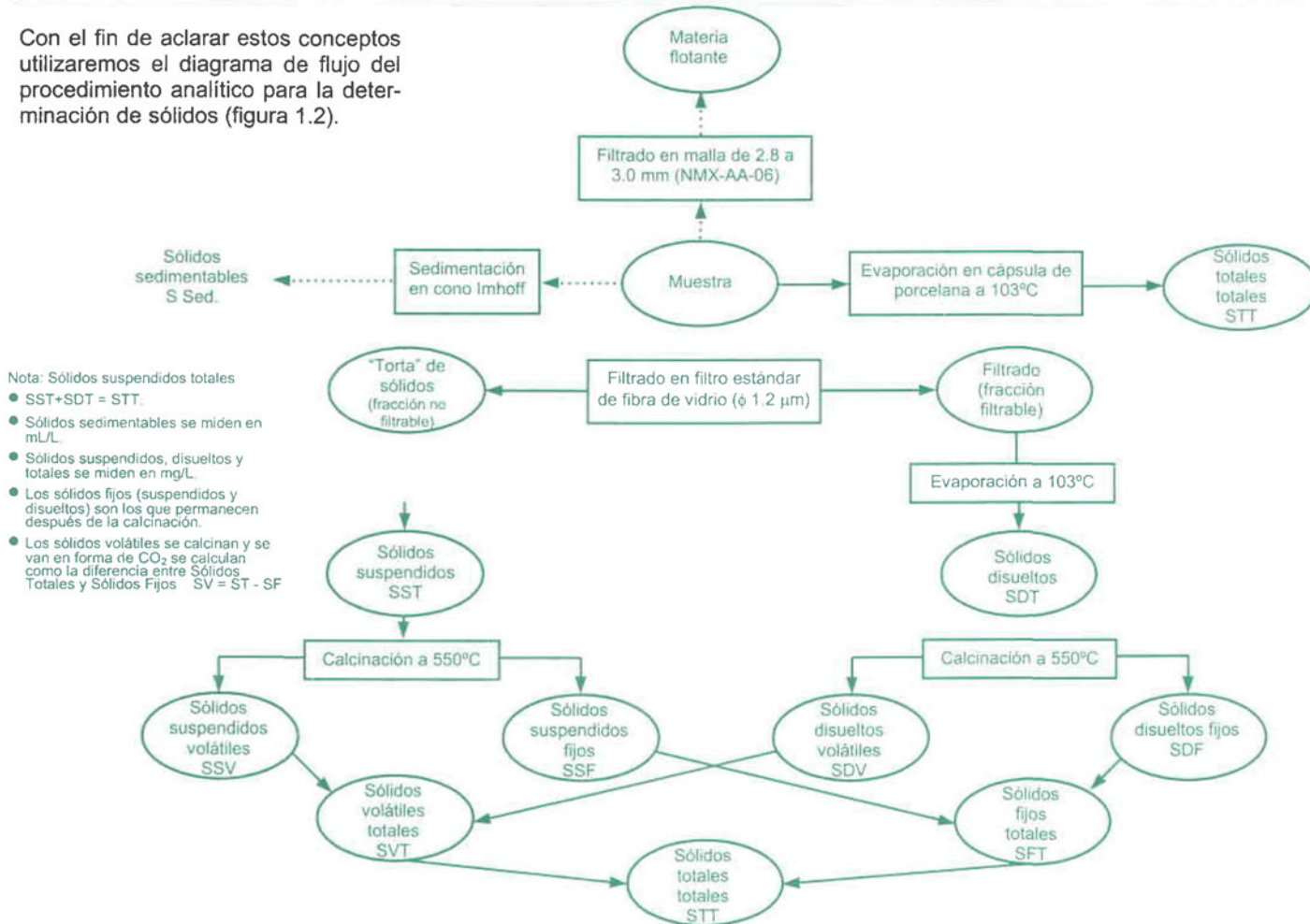


Figura 1.2 Diagrama de flujo para la determinación de sólidos. (Fuente: adaptado de Metcalf & Eddy, 1990).

Siguiendo el diagrama de flujo, resulta evidente que los sólidos totales son toda la materia que permanece como residuo después de que una muestra de agua residual ha sido evaporada entre 103° y 105 ° centígrados.

### 1.2 Sólidos suspendidos totales

Para determinar los sólidos suspendidos es necesario filtrar una muestra a través de un filtro estándar de fibra de vidrio con diámetro de porode de 1.2  $\mu\text{m}$ . Las partículas retenidas en el filtro son los sólidos suspendidos.



Como consecuencia de la filtración de la muestra se genera un filtrado que contiene a las partículas menores que 1.2  $\mu\text{m}$ . Éstas comprenden los sólidos coloidales y los sólidos disueltos. Los sólidos coloidales son

aquellos cuyo tamaño va de 0.001 a 1 micrómetro y los sólidos disueltos son aquellos cuyo diámetro es menor que 0.001  $\mu\text{m}$ . Es importante aclarar que para los sistemas primarios, los sólidos disueltos no son de interés, ya que no pueden ser removidos del agua residual por medios físicos. Por

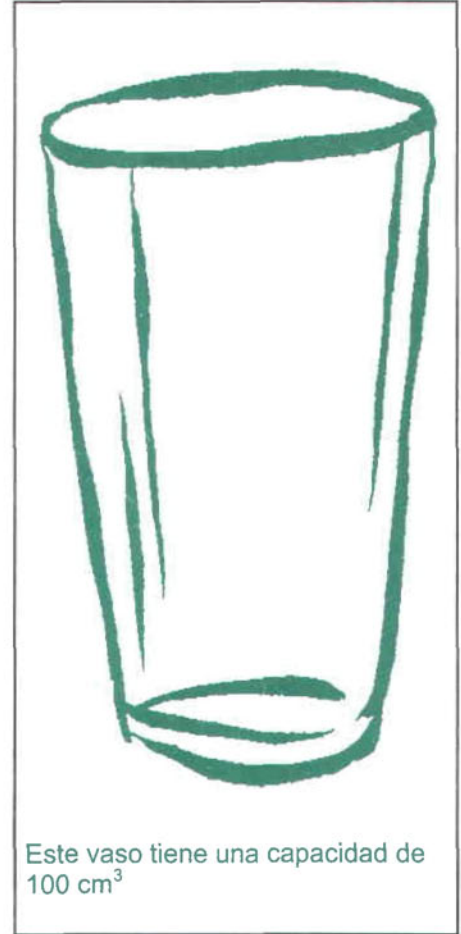
su parte, los sólidos coloidales pueden ser removidos, por efecto de la gravedad, sólo si se consigue que estos aumenten su tamaño y masa, lo cual se logra mediante la coagulación-floculación o tratamiento primario avanzado (capítulo 4).

De acuerdo con lo anterior, los sólidos se pueden clasificar por su tamaño en suspendidos, coloidales y disueltos. Asimismo, estarán asociados con una fracción filtrable o no filtrable de la muestra de agua residual. Como se mostró en la figura 1.1.

### 1.3 Materia flotante y sólidos sedimentables

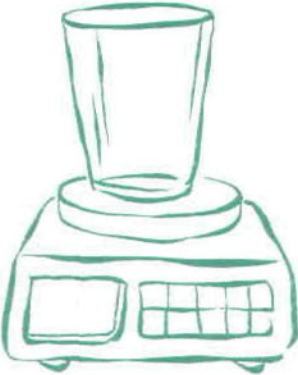


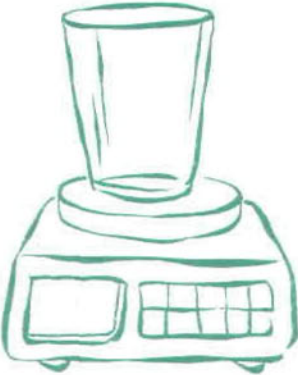


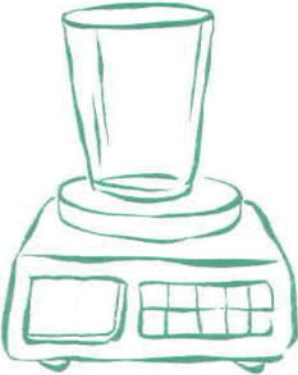


Otras determinaciones rutinarias señaladas en la figura 1.2 son la materia flotante y la materia sedimentable. Para aclarar las diferencias entre este tipo de sólidos se explica lo que es la densidad. La densidad ( $\rho$ ) es la cantidad de materia contenida en una unidad de volumen. Cada sustancia tiene una densidad específica, cuando mezclamos un líquido y un sólido o dos líquidos con densidades diferentes, la densidad específica de cada uno de ellos provocará que se acomoden en la parte superior o inferior del recipiente que los contiene, ocupando la parte baja el que tenga mayor densidad.

Las ilustraciones siguientes se utilizan para explicar esto.

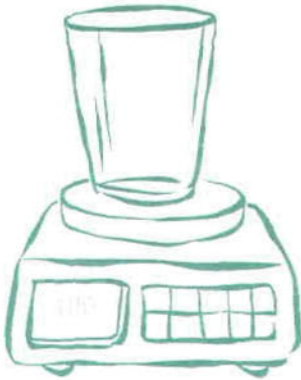


Este vaso tiene una capacidad de 100  $\text{cm}^3$



<p>Su peso es de 100 gramos.</p> 	<p>Si lo llenamos con arena.</p> 	<p>El peso total será de 350 g (menos los 100 gramos del recipiente hay 250 gramos de arena)</p> 	$\rho_{\text{arena}} = 250 \text{ g}/100 \text{ cm}^3$ $= 2,500 \text{ kg}/\text{m}^3$ $= 2.50 \text{ g}/\text{cm}^3$
	<p>Si lo llenamos con mercurio.</p> 	<p>El peso será de 1,455 gramos (la cantidad de mercurio es 1,355 gramos)</p> 	$\rho_{\text{mercurio}} = 1,355 \text{ g}/100 \text{ cm}^3$ $= 13,546 \text{ kg}/\text{m}^3$ $= 13.55 \text{ g}/\text{cm}^3$
	<p>Si lo llenamos con agua a 4°C</p> 	<p>Pesa 200 gramos (menos el peso del recipiente, el agua pesa 100 gramos)</p> 	$\rho_{\text{agua}} = 100 \text{ g}/100 \text{ cm}^3$ $= 1,000 \text{ kg}/\text{m}^3$ $= 1.00 \text{ g}/\text{cm}^3$

Al mismo vaso.



Le agregamos agua y arena.

$$\rho_{\text{agua}} = 1,000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{arena}} = 2,500 \text{ kg/m}^3$$



Le agregamos mercurio y arena.

$$\rho_{\text{arena}} = 2,500 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{mercurio}} = 13,546 \text{ kg/m}^3$$



Le agregamos agua y hielo.

$$\rho_{\text{hielo}} = 915 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{agua}} = 1,000 \text{ kg/m}^3$$





1) Si la densidad de la materia sólida ( $\rho_s$ ) es menor que la del agua ( $\rho$ ), el sólido flota ( $\rho_s < \rho$ ). Este caso es el que describe a la materia flotante.

2) Si la densidad de la partícula sólida y del agua son iguales, el sólido permanece suspendido en el agua a la altura en que se haya dejado, a menos que una fuerza externa cambie la posición de la partícula ( $\rho_s = \rho$ ).

3a) Si la densidad de la partícula es ligeramente superior que la del agua, el sólido se desplaza lentamente hacia el fondo del recipiente ( $\rho_s > \rho$ ).

Este caso es el que generalmente se presenta en los sedimentadores, tanto primarios como secundarios.

3b) Si la densidad de la partícula sólida es mucho mayor que la del agua, el sólido se hunde con facilidad y se deposita en el fondo de la estructura que contiene o conduce al agua ( $\rho_s \gg \rho$ ). Esto ocurre en los desarenadores.

Para efectos de la Norma Mexicana NMX-AA-06, la materia flotante, además de ser menos densa que el

agua, debe ser retenida por una malla con abertura de 2.8 a 3 milímetros (Figura 1.3).

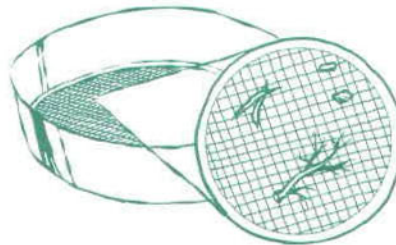


Figura 1.3 Materia flotante.

La mayor parte de la materia suspendida es sedimentable, es decir, tiene una densidad mayor que la del agua. Sin embargo, además de la densidad hay otros factores que determinan que una partícula pueda o no sedimentar.

Por ejemplo, los sólidos coloidales, aún cuando la sustancia de que están compuestos sea más densa que el agua, su tamaño es tan pequeño que no son susceptibles de precipitar por su propio peso.

Los sólidos sedimentables o potencialmente sedimentables, cuando se desplazan a través del líquido, experimentan la acción de tres fuerzas

(Figura 1.4)

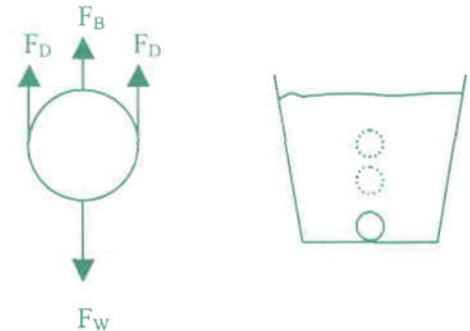
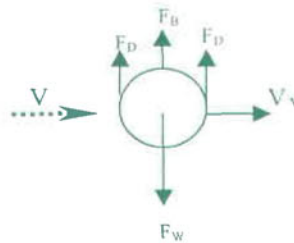


Figura 1.4 Diagrama de fuerzas sobre una partícula en un líquido.

1) Una fuerza exterior que es la que provoca el movimiento y puede ser la gravedad, o puede ser el resultado de campos magnéticos o eléctricos. Para efectos de los sistemas primarios, sólo nos interesa la gravedad ( $F_W$ ).

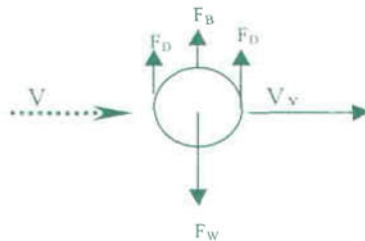
2) La fuerza de empuje del fluido ( $F_B$ ), que actúa en la misma dirección que la gravedad, pero en sentido contrario. Está dada por el principio de Arquímedes, es decir, es el producto de la masa del líquido desplazado por la partícula multiplicado por la fuerza exterior que actúa sobre la partícula (la gravedad).

3) La fuerza de arrastre ( $F_D$ ) se manifiesta en forma paralela al movimiento de la partícula a través del fluido pero con un sentido opuesto. Está dada por la velocidad relativa entre el fluido y la partícula. Durante la "caída" de la partícula en el agua llega un momento en que la fuerza de arrastre se equilibra con la fuerza de la gravedad y la partícula se desplaza a una velocidad constante conocida como velocidad terminal.



$V_x =$  Velocidad media del agua en la dirección X.

Los equipos en las cuales se lleva a cabo la separación de los sólidos, operan en forma continua, es decir, todo el tiempo entra y sale agua del sistema. Por ello, el agua se desplaza con una velocidad horizontal ( $V_x$ ), la cual interfiere con el movimiento descendente de las partículas. En la medida que la velocidad horizontal del agua aumente, la velocidad terminal de la partícula disminuye y las partículas cuya nueva velocidad terminal sea menor que la de diseño del sedimentador, serán llevadas con el agua fuera del equipo de separación. Por ello es muy importante que el movimiento del agua dentro del sedimentador sea muy lento, para que el mayor número de partículas pueda ser retenido dentro del tanque. La figura 1. 5 ilustra esto.



**Figura 1.5 Trayectoria de las partículas en un sistema continuo.**

Si las fuerzas de arrastre y de empuje del fluido son mayores que el peso de la partícula, entonces esta última no puede sedimentar.

$$F_B + \sum F_D < F_W \quad \text{La partícula sedimenta.}$$

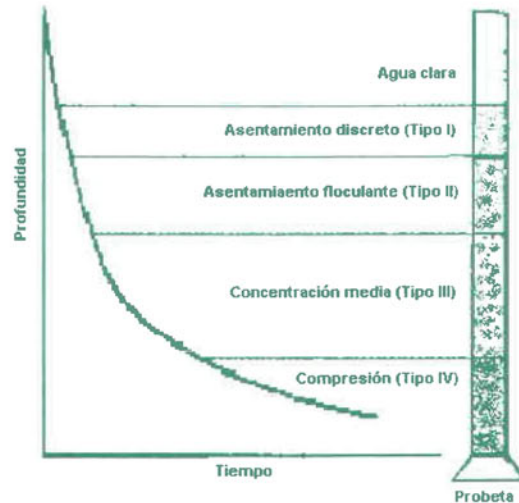
$$F_B + \sum F_D \geq F_W \quad \text{La partícula no sedimenta.}$$

Hasta este punto la explicación de la sedimentación se refiere a partículas discretas (sedimentación tipo I). Es decir, sólidos suspendidos en aguas con concentración baja de materia en suspensión; las partículas no interactúan entre sí y sedimentan por su propio peso.

Si todas las partículas sólidas en las aguas residuales fueran discretas, de tamaño, densidad y forma relativamente uniforme, la eficiencia de remoción de estas partículas dependería exclusivamente de la superficie del sedimentador y del tiempo de retención. Sin embargo, la composición de las aguas residuales es muy variada. Es probable encontrar una masa importante de sólidos finamente divididos pero susceptibles de flocular, es decir, capaces de unirse entre sí para aumentar su masa y tamaño y,

de esta forma, aumentar su tasa de sedimentación.

En este caso no es posible predecir el comportamiento de las partículas, ya que son muchos los factores que intervienen. El procedimiento a seguir es hacer pruebas de sedimentación. Para ello se puede utilizar una columna de 15 cm de diámetro y de 3 m de altura, con puertos de muestreo cada 60 cm y procurando que al inicio de la prueba, la distribución de los sólidos sea uniforme a lo largo de toda la columna. Este es el segundo tipo de sedimentación o de partículas floculantes.



La sedimentación tipo I y tipo II son las que encontraremos en los sistemas primarios. Además, se han definido otros dos tipos de sedimentación que ocurren, sobre todo, en los sedimentadores secundarios de los sistemas biológicos y en los espesadores.

La sedimentación tipo III ocurre en agua con una concentración media de sólidos. Las fuerzas interpartícula son suficientes para que una partícula interfiera en la sedimentación de las partículas cercanas. Las partículas se mueven en forma descendente, pero permanecen en posiciones fijas con respecto a las otras partículas. Como resultado, las partículas se comportan como una "masa" o bloque y no como partículas discretas.

La sedimentación tipo IV ocurre en aguas con una concentración muy grande de partículas, de tal manera que se forma una estructura, y la sedimentación sólo puede ocurrir por la compresión de la estructura; el peso de las partículas que continuamente se agregan a la estructura por la sedimentación del líquido sobrenadante es el responsable de la compresión.

Este fenómeno ocurre en el fondo de los sedimentadores secundarios y en los espesadores.



---

## RESUMEN

En el agua residual se encuentran presentes varios tipos de sólidos y se pueden clasificar, con base en su diámetro en: suspendidos, coloidales y disueltos. Siendo los suspendidos los de mayor interés para los sistemas primarios, ya que éstos son los que removerá. Un sólido suspendido es aquel que queda retenido por un filtro estándar de fibra de vidrio cuyo diámetro nominal es de 1.2 micras.

Otra forma de clasificar los sólidos, es de acuerdo a su comportamiento con respecto al agua y serán: materia flotante, sólidos en suspensión y sólidos sedimentables. Los sólidos sedimentables son aquellos que podrán ser removidos por efecto de la gravedad.

Para que un sólido pueda ser removido por un sistema primario, debe presentar un peso mayor que las fuerzas de empuje del líquido y las fuerzas de arrastre. Para que esto suceda, el sólido debe ser más denso que el agua y se deben crear condiciones casi estáticas en los equipos de separación para que la velocidad horizontal del agua no arrastre a las partículas fuera de las unidades.

De acuerdo con la forma en que las partículas sedimentan, se distinguen cuatro tipos de sedimentación: la de partículas discretas (I); la de partículas floculantes (II); que son las de interés para los sistemas primarios. Los otros dos tipos son: la sedimentación en bloque (III) y la sedimentación por compresión (IV).

## AUTOEVALUACIÓN

1. Las sustancias contaminantes contenidas en el agua residual, que pueden ser removidas por los sistemas primarios están en forma:

- a) Disuelta.
- b) Suspendida.
- c) Gaseosa.

2. Un sólido suspendido es aquel que sea retenido por un filtro de fibra de vidrio con un diámetro de poro:

- a) 0.45  $\mu\text{m}$ .
- b) 1.20  $\mu\text{m}$ .
- c) 2.00  $\mu\text{m}$ .

3. Los sólidos totales es la suma de:

- a) Sólidos suspendidos y coloidales.
- b) Sólidos coloidales y disueltos.
- c) Sólidos suspendidos, coloidales y disueltos.

4. De acuerdo con su densidad respecto a la del agua, los sólidos pueden ser:

- a) Flotantes, suspendidos y disueltos.
- b) Flotantes, suspendidos y sedimentables.
- c) Coloidales, disueltos y sedimentables.

5. ¿Cuáles de los siguientes factores intervienen en la sedimentación de una partícula dentro de un tanque de sedimentación?

- a) Densidad.
- b) Tamaño de partícula.
- c) Velocidad horizontal del agua.
- d) Todas las anteriores.
- e) Ninguna de las anteriores.

## 2 EQUIPOS E INSTALACIONES DEL TRATAMIENTO PRIMARIO

Al terminar esta unidad, el participante será capaz de enlistar los equipos o unidades que integran una planta de tratamiento primario de aguas residuales y explicar las diferencias entre las distintas unidades de separación de sólidos, así como los factores que intervienen en la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos.

Toda planta de tratamiento<sup>1</sup> de aguas residuales está integrada por una serie de unidades de proceso colocadas en forma secuencial, dependiendo de los contaminantes que haya que remover.

Las figuras 2.1 a 2.3 son ejemplos de trenes de tratamiento primario. En ellas se distinguen las etapas: pretratamiento y tratamiento primario, y se señalan las unidades de proceso que integran dichas etapas. El pretratamiento se refiere a la eliminación de materia muy voluminosa, tal como botellas, trapos, piedras o materia

pesada, como grava y arena. Es necesario removerlos para evitar que interfieran con el tratamiento en sí, y para evitar que dañen los equipos.

Usualmente, las plantas de tratamiento primario de aguas municipales (figura 2.1) comprenden el cribado (rejas, rejillas), la medición del flujo (ésta no es parte del pretratamiento, ni es indispensable que esté colocado en este sitio, sin embargo, debe existir por lo menos un medidor de caudal en la planta); la desarenación; y la unidad primaria de separación de sólidos.

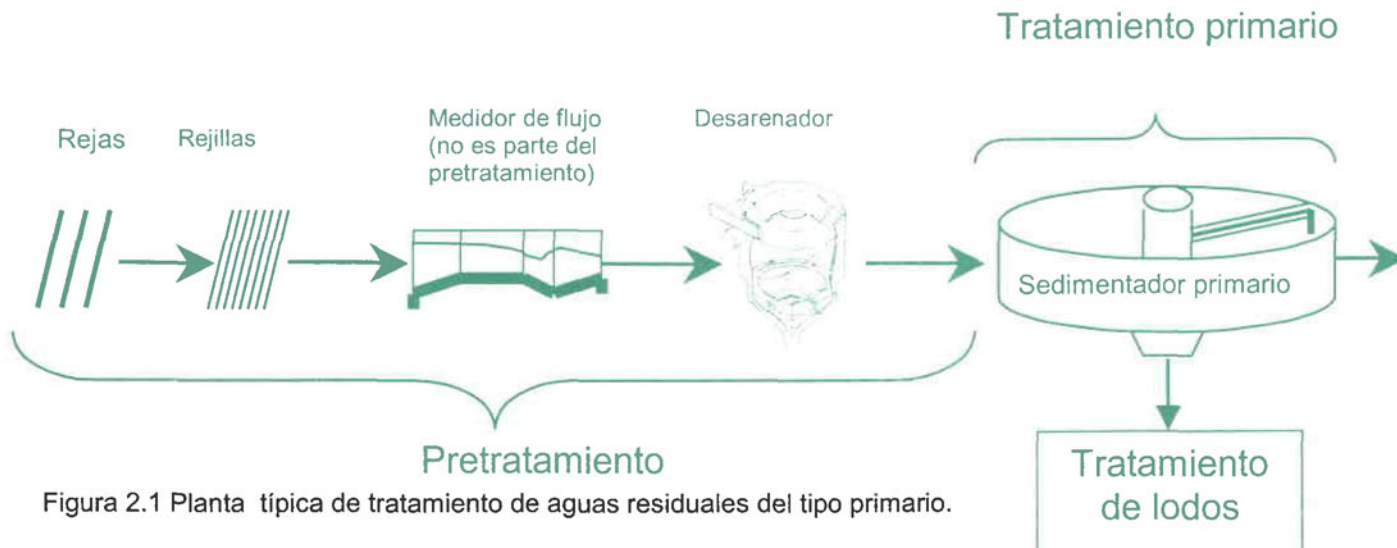


Figura 2.1 Planta típica de tratamiento de aguas residuales del tipo primario.

<sup>1</sup> Los sistemas lagunares generalmente tendrán una configuración diferente; en muchas ocasiones sólo cuentan con un sistema de rejillas y la laguna o, únicamente, la laguna.

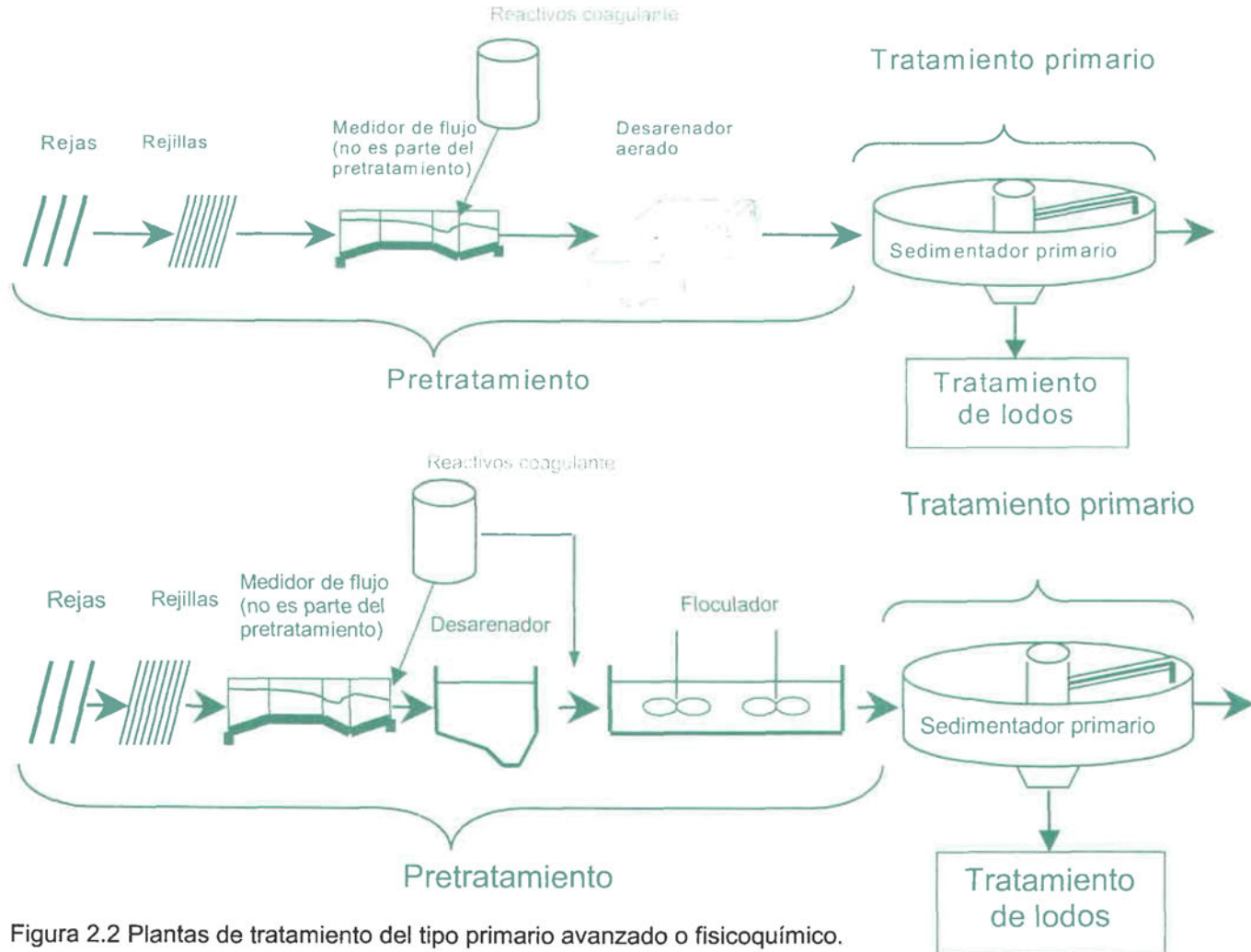


Figura 2.2 Plantas de tratamiento del tipo primario avanzado o fisicoquímico.

Nota: En la ilustración, el medidor Parshall se usa como unidad de mezcla rápida, sin embargo, es frecuente encontrar agitadores mecánicos para llevar a cabo dicha mezcla.



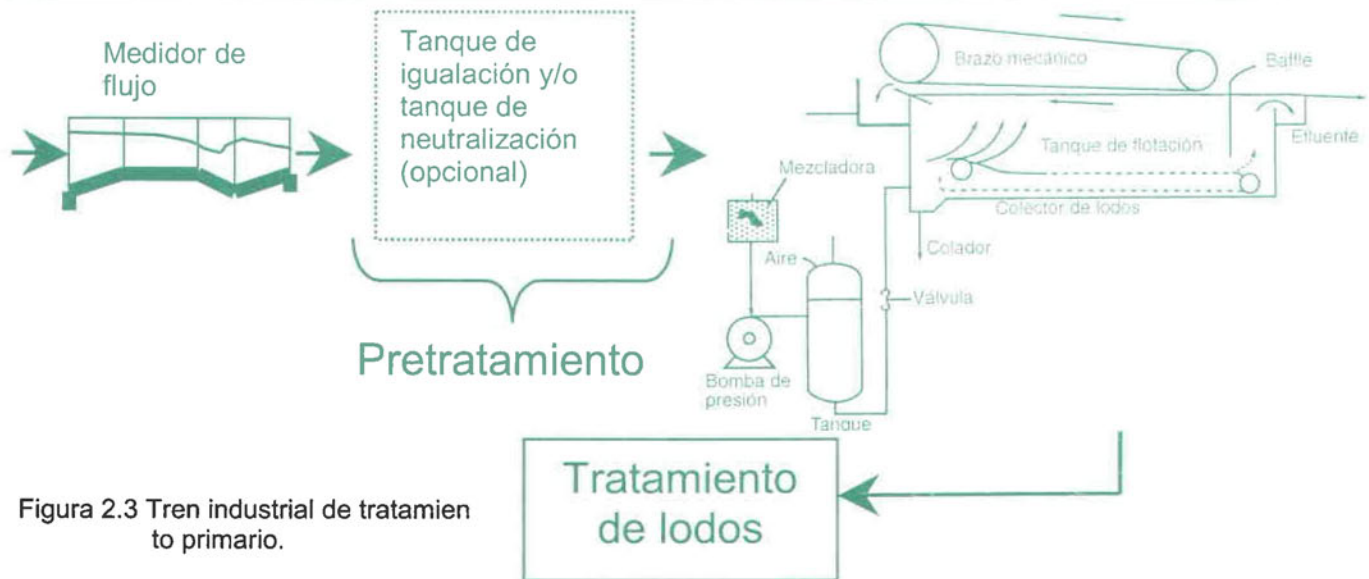


Figura 2.3 Tren industrial de tratamiento primario.

Además, toda planta de tratamiento debe contar con una línea para el tratamiento de los lodos de desecho.

Existe una variante de tratamiento conocida como tratamiento primario avanzando (figura 2.2) que incluye una dosificación de reactivos para ayudar a la formación de flóculos y, de esta forma, aumentar la sedimentación de los sólidos suspendidos. En la unidad 4 se verá con detalle.

En aguas residuales provenientes de procesos industriales es usual que no

se cuente con rejas ni rejillas ni desarenadores y, en cambio, sí es frecuente que se encuentren tanques de igualación y/o neutralización, ya que hay grandes variaciones tanto en el caudal como en la composición del agua. La figura 2.3 es un tren de tratamiento que se puede encontrar en las industrias.

A continuación se describen los equipos de proceso, o las operaciones unitarias que aparecen en las ilustraciones.

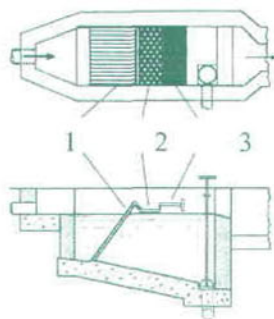
## 2.1 Pretratamiento

### 2.1.1 Cribado

El cribado es un método que remueve, del agua residual, los contaminantes más voluminosos, ya sean flotantes o suspendidos. Las cribas se clasifican en función del tamaño de la partícula removida, como finas o gruesas. Una variante es la reducción de tamaño de la basura (desmenuzado). El cribado sirve como instrumento de protección del equipo electromecánico.

Las unidades de cribado más usuales, para las plantas de tratamiento de agua municipales, son las rejillas.

Una unidad de rejillas consta de barras de acero verticales o inclinadas espaciadas a intervalos regulares, situadas en forma perpendicular al canal a través del cual fluye el agua residual. Las rejillas son usadas antes de las bombas, 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 agua residual. Para las rejillas gruesas se consideran aberturas entre 75 y 150 mm, mientras que en las



- 1) Rejilla inclinada.
- 2) Charola de escurrimiento.
- 3) Rejilla horizontal fija.

Figura 2.4a Rejilla manual.

rejillas finas los claros son entre 15 y 75 milímetros.

Las rejillas pueden ser de limpieza manual o automática (figura 2.4a y b). Las de limpieza manual presentan una inclinación de 45 a 60° con respecto a la horizontal. La inclinación facilita la limpieza. Por su parte, las rejillas de limpieza automática tienen inclinaciones de 60 a 90 grados.

La activación de las rejillas automáticas puede ser programada (el mecanismo corre cada determinado periodo entre 10 y 15 minutos), o bien, mediante un

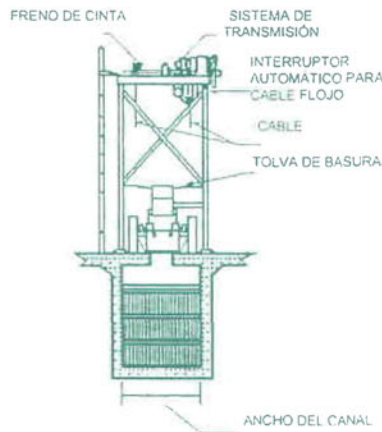


Figura 2.4b Rejillas de limpieza automática.

electronivel antes de la rejilla: cuando el nivel del agua sube, se activa el mecanismo.

Una vez separado, el material cribado se seca y generalmente se envía a un relleno sanitario, ya que se trata de botellas y bolsas de plástico, trapos, papeles, palos, ramas y hojas.

Otras unidades de cribado, además de las rejas y rejillas, se presentan en la tabla 2.1.

### 2.1.2 Medición del flujo

Los equipos que se utilizan para medir el caudal de agua residual se han explicado en el Manual *Aforos de descargas*, de esta misma serie. Para los propósitos de este manual basta establecer que la medición del flujo facilita la operación y control de la planta de tratamiento de aguas residuales. Conocer las variaciones de flujo permite determinar la cantidad de reactivos a emplear (cuando sea el caso) y predecir los lodos que se van a generar.

La localización de los medidores de flujo puede ser: antes de la planta, entre las rejillas y el desarenador o antes del sedimentador primario, en la estación de bombeo, o antes de la descarga final del efluente.

TABLA 2.1 TAMAÑO DE LA ABERTURA DE LOS CRIBADORES DE GRUESOS Y FINOS.

TIPO DE TAMIZ	ABERTURA (mm)	OBSERVACIONES
Rejillas gruesas.	51 a 153	Su uso estará definido por la basura presente. En algunas plantas sólo se emplean las rejillas finas.
Rejillas.	19 a 51	La abertura más común es de 25 mm.
Desmenuzadores.	6 a 19	La abertura está en función de la capacidad hidráulica de la unidad. No remueven los sólidos, sino los reduce en tamaño y tienen que ser removidos por las unidades subsecuentes. Su uso no es frecuente en México.
Tamiz fijo (estático).	2.3 a 6.4	Aberturas menores a 2.3 mm son usadas en el pretratamiento y/o pueden sustituir al tratamiento primario. Son muy útiles cuando se tienen limitaciones de espacio. En México, no es frecuente encontrarlas en plantas municipales, pero sí en instalaciones industriales.
Tamiz ajustable.	0.02 a 0.3	Se utilizan para la remoción de sólidos muy pequeños y que no pueden ser eliminados por otros métodos, tales como la decantación o la degradación biológica.

FUENTE: Adaptado de WPCF y ASCE, 1982.



### 2.1.3 Desarenadores

La función de los desarenadores es eliminar la arena del agua residual para proteger los equipos mecánicos de la abrasión y el desgaste, evitar la obstrucción de los conductos por la acumulación de partículas de arena en las tuberías o canales, y reducir la acumulación de material inerte en los tanques de aeración y lodo digerido, evitando pérdidas en el volumen útil de dichos reactores.

La ubicación más frecuente de los desarenadores es después de las rejillas y antes del sedimentador primario. En

ocasiones, el desarenador se coloca antes del cribado, condición que no es recomendada. También se llegan a instalar antes de las bombas de agua residual. Sin embargo, es frecuente que el sistema de alcantarillado sea tan profundo que situar el desarenador antes del bombeo no es costeable y se opta por bombear el agua con todo y arena, teniendo en cuenta que las bombas requerirán mayor mantenimiento.

Existen tres tipos básicos de desarenadores: los de flujo horizontal (control de velocidad y de nivel constante), los aerados y los de vórtice.

### Desarenadores de control de velocidad

La arena cuya densidad está entre 1.5 y 2.7 g/cm<sup>3</sup>, mientras que la densidad de la materia orgánica es ligeramente superior que la del agua. Por ello, la sedimentación diferencial es un mecanismo seguro para la separación de la arena.

Los desarenadores con control de velocidad son canales de sedimentación largos y estrechos (Figura 2.5) que cuentan con secciones de control a la entrada y salida del mismo. Las sec-



ciones de control incluyen vertedores proporcionales Suro, o canales Pars-hall. Estas secciones mantienen la velocidad constante del canal a grandes intervalos de flujo.

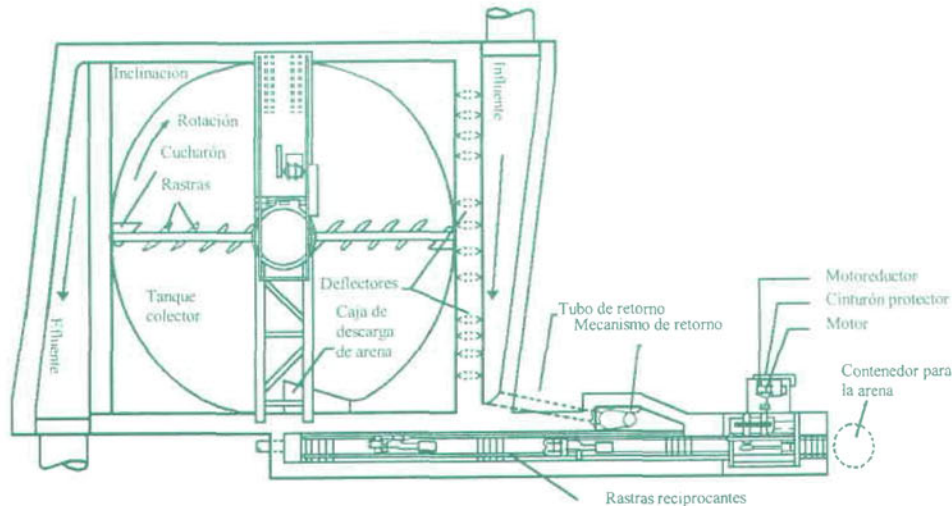
Normalmente, los desarenadores con control de velocidad son de limpieza manual, pero se pueden instalar dispositivos de limpieza mecánica, tales como: transportador de cangilones o rascadores (plantas pequeñas), y elevadores de cadena continua con cangilones o transportador de tornillo helicoidal (plantas grandes).

### Desarenadores rectangulares de nivel constante

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.

Las ventajas de los desarenadores de nivel constante son:

- Debido a la forma del tanque se puede eliminar 95% de la arena, siempre que se maneje la concentración y el flujo de diseño.
- La arena eliminada del tanque



**Figura 2.6 Vista en planta de un tanque desarenador a nivel constante.**  
(Fuente: Noyola et al., 2000).

puede ser lavada y drenada con no más del 3% del peso de la materia putrescible.

- No es necesaria una velocidad uniforme del flujo que ingresa.
- El equipo no sufre deterioro por abrasión, ya que las partes mecánicas se encuentran por arriba del nivel del agua.

La principal desventaja de este tipo de desarenadores radica en la dificultad

para obtener una distribución uniforme del flujo cuando se usan deflectores de paleta.

### Desarenadores aerados

Este tipo de desarenadores se emplean para una remoción selectiva de arena. Son tanques con flujo en espiral que 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.

La figura 2.7 ilustra la trayectoria del flujo de agua dentro del desarenador y las trayectorias que pueden seguir los granos de arena en su interior.

Algunas de las ventajas de este 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 de los sólidos suspendidos..

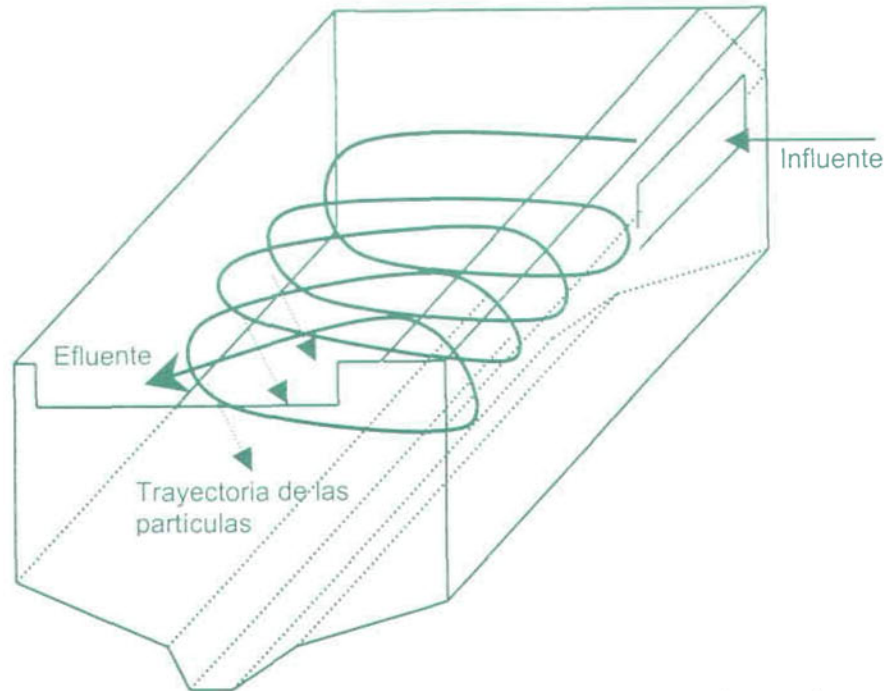


Figura 2.7 Trayectoria del agua y las partículas en un desarenador aerado.

Fuente: (Metcalf & Eddy,1990)

- Presenta una pérdida de carga mínima.
- Controlando la rapidez de aeración, se pueden alcanzar remociones de arena por arriba del 90 por ciento.
- 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 especial.



## Desarenadores de vórtice

Este tipo de desarenadores trabaja con un flujo tipo vórtice y aprovecha las fuerzas centrífuga y gravitacional. El agua a tratar 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, de acuerdo con su tamaño, densidad y fuerza de arrastre, algunas partículas son retenidas dentro del vórtice; mientras que otras son arrastradas

fuera del equipo. Es decir, 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, o bien, se succiona mediante una bomba de aire.

Dos variantes de desarenadores de vórtice que se encuentran en forma comercial se presentan en la figura 2.8.

### Colección y remoción

La arena eliminada por los desarena-

dores 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 puede contener 50% o más de material orgánico, mientras que la lavada tiene un máximo del 3%. Así, el procedimiento recomendado es lavar la arena, regresar el agua de lavado al sistema de tratamiento y disponer de la arena.

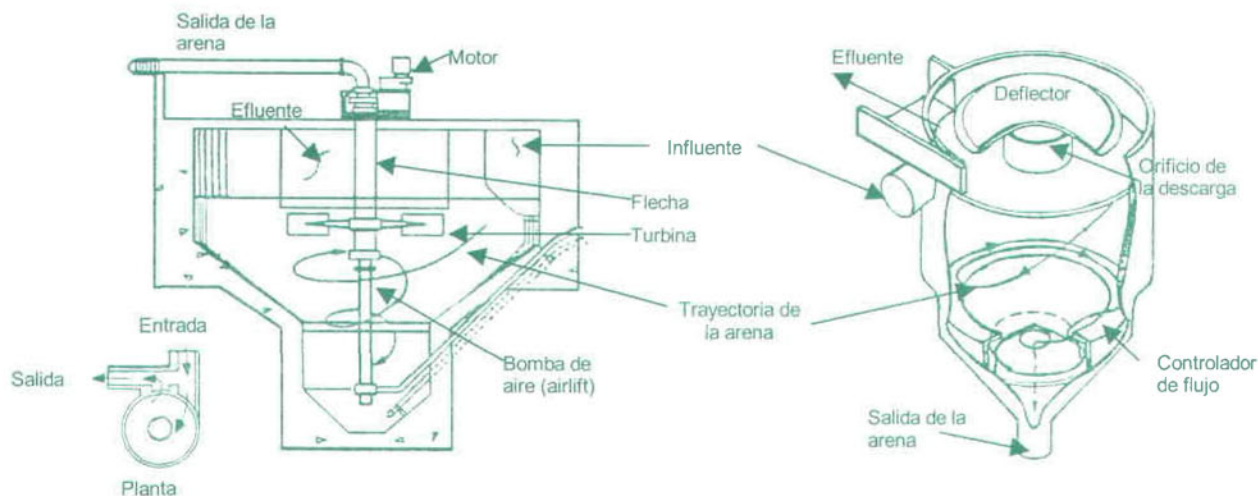


Figura 2.8 Desarenadores tipo vórtice: a) unidad PISTA (de Smith & Loveless) y b) unidad taza de té (de Eutek).

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1990).

## 2.2 Tratamiento primario

La segunda etapa mostrada en las figuras 2.1, 2.2 y 2.3 es el tratamiento primario, aquí se lleva a cabo la separación de la materia orgánica particulada. Esto se puede hacer a través de la sedimentación, la flotación o el microcribado.

### 2.2.1 Sedimentadores

Los sedimentadores primarios generalmente se diseñan para tener un tiempo de retención hidráulico de  $1\frac{1}{2}$  a  $2\frac{1}{2}$  horas y una carga hidráulica<sup>2</sup> de 32 a  $50\text{ m}^3/\text{m}^2\text{ d}$  (0.37 y 0.58 mm/s). La carga hidráulica es el volumen de agua que pasará sobre la superficie horizontal del tanque en un día y este parámetro se equipará con la velocidad terminal de las partículas (unidad<sup>1</sup>).

Existen dos tipos básicos de sedimentadores: los circulares y los rectangulares. El principio de funcionamiento es el mismo, en ambas estructuras se crearán las condiciones de movimiento suave y lento para que las partículas puedan depositarse en el fondo. Ambos cuentan con estructuras que les permiten desplazar los lodos depositados en el fondo del tanque hasta la tolva o pozo donde se concentran, ambos tienen un

mecanismo para coleccionar las natas o la materia flotante.

### Sedimentadores rectangulares

La figura 2.9 es un sedimentador rectangular típico.

Los tanques rectangulares pueden ser implementados como una sola instalación o varias, con una pared común entre todas ellas, lo que requiere de un área disponible menor.

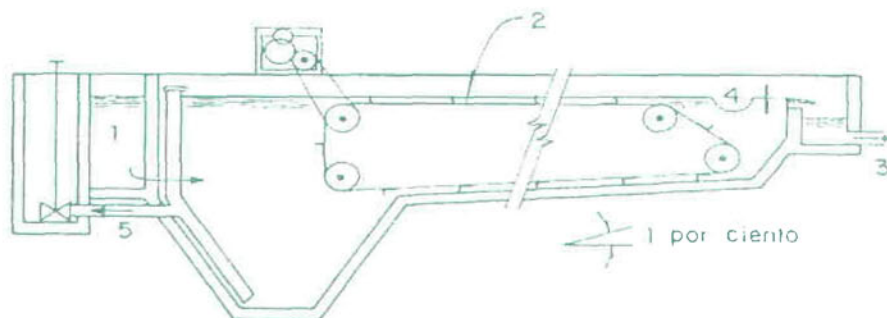
Las relaciones geométricas comunes para las instalaciones rectangulares son:

longitud:ancho      3:1 o más  
ancho:profundidad    1:1 a 2.25:1

Las profundidades típicas, cuando se emplean estos tanques como sedimentador primario, son de 2.4 a 3 metros.

Los sólidos sedimentables son eliminados por medio de transportadores de cadena o rastras, o bien, por puentes corredizos.

Las rastras mueven el lodo por el fondo del tanque y los conduce a una tolva en la entrada del sedimentador.



1. Llegada de agua bruta
2. Cadena sin fin
3. Salida de agua decantada
4. Recolección de materia flotante
5. Evacuación de lodos

<sup>2</sup> El concepto de carga hidráulica se explica en el anexo 1. 19

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 malos olores por putrefacción de la materia orgánica.

La materia flotante, sólida y líquida que llamaremos nata, se colecta al final del tanque por medio de medias cañas móviles, o bien, por rascadores que se mueven sobre la superficie del líquido.

La espuma es empujada por las rastras

hasta un punto en el que es atrapada por los deflectores antes de su eliminación. La espuma 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 término.

Para caudales muy pequeños se pueden utilizar sedimentadores sin mecanizar, en esos casos, la pendiente del piso es mucho mayor, de tal forma

que los sólidos que lleguen al fondo puedan seguirse desplazando hasta llegar a la tolva.

### Sedimentadores circulares

Los equipos circulares (figura 2.10) son usados como sedimentadores primarios o secundarios y para el espesamiento de los lodos. En este equipo el agua residual se introduce por el centro y se distribuye hacia la periferia.

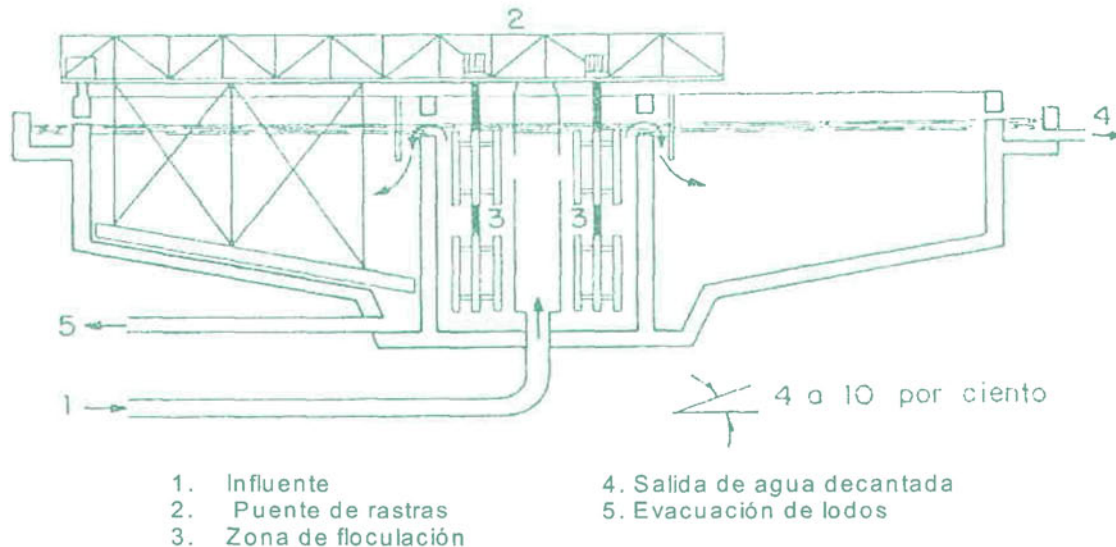


Figura 2.10 Sedimentador circular.



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 2:12. 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 o visible en tanques con diámetros menores de 15 m. Las unidades con succionadores se utilizan para manejar grandes cantidades de lodo. Las rastras o succionadores se instalan soportados en 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

### 2.2.2 Flotación de sólidos

Los sólidos cuando tienen una densidad relativamente baja y son finos, pueden también ser separados como espuma o materia flotante. Para ello, se agrega aire al agua con materia en suspensión para provocar que burbujas de aire se adhieran al sólido y se eleven a la superficie; la forma más eficiente de hacer esto es a través del proceso conocido como flotación por aire disuelto o DAF (por sus siglas en inglés).

La flotación por aire disuelto es una operación unitaria en la cual un gran número de microburbujas de aire se adhieren a las partículas y las elevan hasta la superficie del agua.

Para crear las burbujas microscópicas (diámetros menores a 100 mm) se utilizan dos procedimientos:

1) **Agua de dispersión.** El agua se satura de aire en un tanque de alta presión (de 4 a 7 kg/cm<sup>2</sup>), posteriormente la mezcla se inyecta en el tanque de flotación, que está a presión atmosférica. El aire se desprende de la mezcla formando burbujas diminutas que se adhieren a la materia en suspensión. El agua de dispersión, que normalmente oscila de 5 a 15% del volumen de agua tratada en la flotación por aire disuelto, es suficiente para remover en forma efectiva sólidos suspendidos con concentraciones de 400 a 500 mg/L. Si la concentración de sólidos es mayor, se tiene que aumentar la cantidad de burbujas, es decir, se debe aumentar el agua de dispersión.

2) **Inyección de aire a presión.** En este tipo de equipo, la succión de la bomba centrífuga que se usa para elevar el agua en la flotación por aire disuelto. Con este método, toda el agua que se tratará con la flotación por aire disuelto se presuriza a razón de 3 a 4 kilogramos por centímetro cuadrado.

Ambos procedimientos tienen costos

semejantes. El método del agua de dispersión se utiliza para tratar grandes volúmenes de agua.

La figura 2.11 es una representación de un flotador por aire disuelto típico de una marca registrada.

Generalmente, se requiere el uso de coagulantes y floculantes para ayudar a la formación de sólidos de mayor tamaño y que tengan la capacidad de atrapar el aire.

Existen otros dos métodos para flotar la materia en suspensión: por inyección directa y flotación al vacío.

En la flotación por inyección directa, el aire o gas que se utiliza se agrega directamente al agua a través de difusores. Esta modalidad no ofrece buenos resultados para remover materia en suspensión; sin embargo, si el desecho tienen la capacidad de formar espumas se pueden lograr mejores resultados.

En los sistemas de flotación al vacío, el agua se satura con aire a presión atmosférica y después el agua residual saturada entra en un tanque al vacío en donde el aire se libera y eleva los sólidos suspendidos. Es menos frecuente que la flotación por aire disuelto.

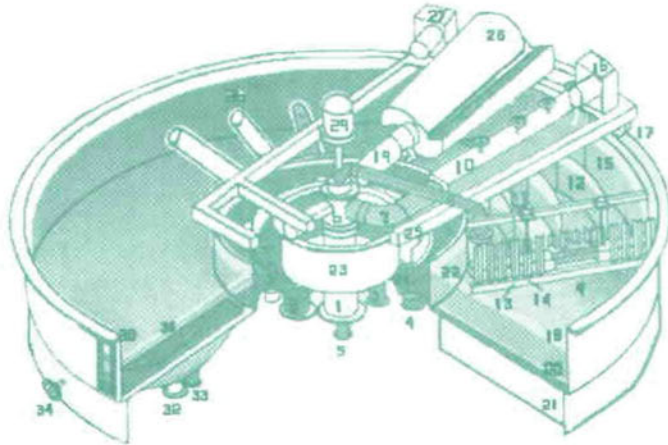


Figura 2.11 Flotador por aire disuelto.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Entrada de agua cruda.  | 18. Espejo de agua.                                    |
| 2. Salida de agua clarificada.   | 19. Flecha del cucharón.                               |
| 3. Salida del lodo flotado.  | 20. Pared del tanque.                                  |
| 4. Salida del agua clarificada para recirculación.                           | 21. Estructura de soporte del piso del tanque.         |
| 5. Entrada de agua presurizada (o de dispersión).                            | 24. Vertedor de control de nivel.                      |
| 6. Junta rotativa.   | 22. Pared rotativa de contención del agua clarificada. |
| 7. Conexión de manguera de hule.   | 23. Tolva de lodos.                                    |
| 8. Mangueras de agua presurizada.  | 25. Soporte del puente viajero.                        |
| 9. Cabezal (múltiple) de distribución de agua presurizada.                   | 26. Cucharón rotativo.                                 |
| 10. Múltiple de distribución de agua.  | 27. Motor del cucharón.                                |
| 11. Múltiple de distribución de la tubería de salida.                        | 28. Tubos de extracción del agua clarificada.          |
| 12. Canales de control del flujo.  | 29. Contacto eléctrico anular.                         |
| 13. Mamparas reductoras de la turbulencia.                                   | 30. Ventana o mirilla del tanque.                      |
| 14. Soporte de altura ajustable para las mamparas reductoras de turbulencia. | 31. Hendidura para remoción de sedimentos.             |
| 15. Pared de la salida del canal de control de flujo.                        | 32. Drenaje.   |
| 16. Motor del puente viajero.  | 33. Válvula de purga de sedimentos.                    |
| 17. Rueda del puente viajero.  | 34. Manivela para ajuste del nivel.                    |

### 2.2.3 Microcribas

Comercialmente se encuentran microcribas estáticas y de tambor rotativo. Las estáticas, además, pueden ser vibratorias o con puente móvil y, paradójicamente, pueden tener rejilla móvil. En el apartado de cribado ya se habló de ellas, en general, se utilizan microcribas porque ahorran mucho espacio y en algunas aplicaciones muy particulares son especialmente aptas. Por ejemplo, para remover picos, pedazos de hueso y plumas de pollo en efluentes de rastros avícolas; semillas de chile, cascarilla de diversos granos e incluso levaduras y lodo granular de reactores con mantos de lodos anaerobios de flujo ascendente.

Las rejillas del tipo estático, sobre todo, tienen pérdidas de carga importantes (1 o 2 m dependiendo de la altura de la rejilla).

Las figuras 2.12 y 2.13 son ejemplos de microcribas estáticas y tamices móviles.

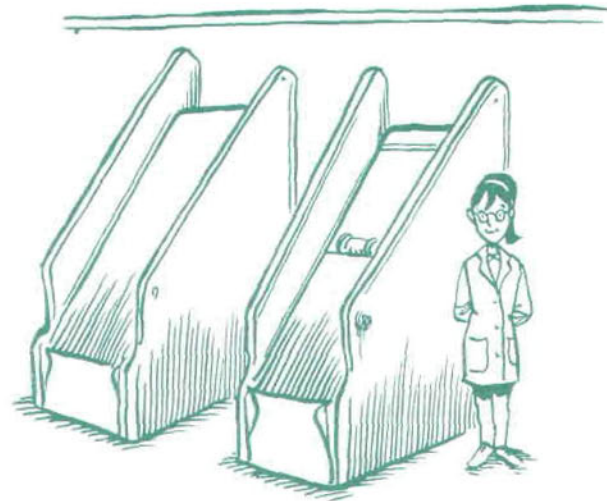


Figura 2.12 Microcribas estáticas

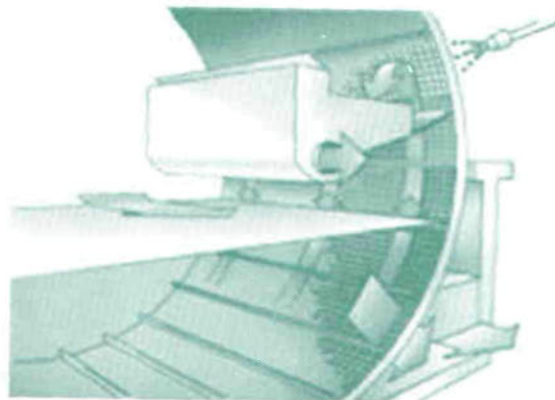


Figura 2.13 Microcribas de tambor rotativo



---

## RESUMEN

Las plantas de tratamiento constan de una serie de equipos de proceso que se colocan en serie para remover los contaminantes, de más grandes a más pequeños. Por el orden secuencial que siguen, generalmente se encuentra el pretratamiento (rejas, rejillas, tamices, desarenadores, unidades de igualación de flujo y de neutralización) y el tratamiento primario (sedimentadores, Flotadores por aire disuelto y microcribas).

En el pretratamiento se removerán los objetos voluminosos y sólidos suspendidos de gravedad específica mucho mayor que la del agua, tal como grava y arena. En el tratamiento primario se remueve materia orgánica particulada. El tamaño de la partícula que se remueva estará definido por la carga hidráulica, en el caso de sedimentadores y sistemas de flotación por aire disuelto, y por la abertura de la malla o rejilla, en el caso de las microcribas.

La configuración del sistema primario de tratamiento estará dada por las características del agua residual, por el espacio disponible y condiciones que debe cumplir en

la descarga.

Cada una de las unidades de proceso presenta diferentes variantes o modalidades. Así para las rejillas podemos encontrar de distintos claros, diferentes ángulos de colocación y manuales o automáticas.

Los desarenadores pueden ser de control de velocidad, aerados o de vórtice; los sedimentadores pueden ser rectangulares o circulares; los sistemas de flotación por aire disuelto pueden ser rectangulares o circulares, aunque las patentes que se consiguen en México son generalmente circulares. Las microcribas pueden ser del tipo curvo, o bien, tambores rotatorios.

Hay una variante del tratamiento primario que se conoce como tratamiento fisicoquímico o tratamiento primario avanzado, en el cual se agregan sales metálicas al agua y/o polímeros para aumentar la eficiencia de remoción de materia particulada.

## AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cuáles de las siguientes unidades de proceso se encontrarán en toda planta de tratamiento primario de aguas municipales?

- a) Rejillas.
- b) Desarenador.
- c) Unidad primaria de separación de sólidos.
- d) Tanque de neutralización.
- e) Medidor de flujo.
- f) Dosificador de sales metálicas.

2. En el pretratamiento se remueven:

- a) Objetos voluminosos y pesados.
- b) Partículas orgánicas en suspensión.
- c) Toda las anteriores.
- d) Ninguna de las anteriores.

3. Los desarenadores:

- a) Siempre se colocan después de las rejillas.
- b) En ocasiones, se colocan antes de las rejillas
- c) Se pueden colocar después del sedimentador primario

---

**4. Cuantos tipos de desarenadores hay**

- a) Uno (por flotación).
- b) Dos (por sedimentación y por flotación).
- c) Tres (control de velocidad, aerados y de vórtice).

**5. ¿Cuáles de las siguientes son unidades primarias de separación de sólidos orgánicos?**

- a) Rejas.
- b) Flotación por aire disuelto.
- c) Sedimentadores.
- d) Desmenuzadores.
- e) Microcribas.
- f) Desarenadores.
- g) Unidad de neutralización.

**6. ¿Cuáles de los siguientes forman parte del equipamiento común de los sedimentadores?**

- a) Rastras.
- b) Colectores de espumas o natas.
- c) Tolva para almacenamiento de lodos.
- d) Línea de inyección de aire disuelto.
- e) Desmenuzador.

**7. Los flotadores por aire disuelto son especialmente aptos para:**

- a) Remover sólidos suspendidos muy pesados.
- b) Remover sólidos suspendidos muy ligeros.
- c) Remover grasas y aceites.
- d) a y b.
- e) b y c.

**8. ¿Cuál de los siguientes equipos no es apto para remover grasas y aceites?**

- a) Microcribas.
- b) Sedimentador.
- c) Flotadores por aire disuelto,

**9. El tratamiento primario avanzado se utiliza para:**

- a) Controlar los malos olores.
- b) Elevar la eficiencia de remoción de materia particulada.
- c) Remover materia disuelta.

### 3 TIPO DE CONTAMINANTES QUE REMUEVEN LOS SISTEMAS PRIMARIOS Y LAS EFICIENCIAS DE REMOCIÓN

Al término de esta unidad el usuario será capaz de describir las características generales de los contaminantes que se remueven en cada una de las unidades de proceso que integran un sistema primario de tratamiento de aguas residuales.

En la unidad 2 se detallaron las instalaciones típicas que se encuentran en un planta de tratamiento primario de aguas residuales.

Generalmente, una planta de tratamiento presenta equipos de proceso instalados en forma secuencial que van quitando, de mayor a menor diámetro, los sólidos presentes en el agua residual. Así, en las rejillas y rejillas del pretratamiento se eliminarán sólidos voluminosos, tales como como botellas, trapos, pedazos de cartón, huesos, piedras, etcétera. En el desarenador —otra parte del pretratamiento— se separan las partículas sólidas más densas y cuyo origen será de tipo inorgánico. Cabe aclarar

que siempre entre la grava y la arena se arrastrará algo de materia orgánica y por ello las arenas, cuando se ponen a secar, pueden generar malos olores si no son lavadas.

Los sedimentadores primarios, las microcribas y el equipo de flotación por aire disuelto removerán, principalmente, partículas de composición orgánica, es decir, partículas que son susceptibles de ser degradadas y requieren de un tratamiento posterior (tratamiento del lodo de desecho) para que su descomposición no cause problemas al entorno. Hay varias formas para tratar los lodos primarios. Los métodos más empleados en México se tratan en otro manual de ésta misma serie.

Por otra parte, todo sedimentador y todo sistema de flotación por aire disuelto está equipado con un dispositivo para capturar la materia flotante y eliminarla de la corriente principal de agua tratada. En el caso de las microcribas, la materia flotante, especialmente si son aceites, tendrá que ser retenida y eliminada mediante otro dispositivo, como una trampa de grasas.

Las sustancias que flotan en la superficie de los sedimentadores está compuesta por grasas, aceites, paja, pa-

peles, objetos plásticos de pequeñas dimensiones y toda la materia cuya densidad sea menor que la del agua y que no haya sido atrapada en la unidades previas. Está materia flotante es de composición muy variada, pero en general es de baja o nula biodegradabilidad y, por lo mismo, no recibe tratamiento, sino que se dispone de ella en algún relleno sanitario.

#### Eficiencia de remoción

En cuanto a la eficiencia de remoción se refiere, un sistema primario convencional, que trata agua doméstica, removerá entre 50% y 65% de los sólidos suspendidos totales y aproximadamente 30 % de la DBO<sub>5</sub> total. En cuanto a la materia flotante, es posible esperar eficiencias de remoción muy altas, 95% o superiores.

Un sistema primario avanzado puede ofrecer eficiencias de remoción de materia suspendida cercanas al 84.3% (Odegaard, 1988) y reducción de la DBO total hasta de 57% (Harleman, 1992). Para aguas residuales domésticas en condiciones específicas (temperatura ambiente muy fría y alcantarillados sanitarios muy cortos) se han reportado eficiencias hasta del 80.6 por ciento.

En el caso de los sistemas de flota-



ción por aire disuelto, para aguas municipales se han reportado niveles de desempeño de 90% y superiores (Odegaard, 2001). Se estima que el efluente de un sistema de flotación por aire disuelto tendrá entre 20 y 30 mg/L de sólidos suspendidos. Los niveles de remoción de DBO serán semejantes a los que alcanza un tratamiento primario avanzado, alrededor de 57%, y en condiciones específicas pueden alcanzar eficiencias alrededor de 80 por ciento.

Las microcribas pueden alcanzar eficiencias de remoción muy altas, siempre y cuando se haya elegido el tamaño de abertura correcto. Una microcriba retendrá los sólidos cuyo diámetro sea mayor o igual que la apertura de la malla o la rejilla. En aplicaciones industriales se han reportado eficiencias de remoción cercanas a 100 % de la muestra en suspensión.

## RESUMEN

En el pretratamiento se remueven principalmente objetos voluminosos (botellas, trapos, palos) y sólidos pesados, tales como grava y arena. Asimismo, se puede ajustar el pH y el volumen del agua residual a tratar.

Las unidades primarias de separación de sólidos removerán, principalmente, sólidos suspendidos orgánicos.

Las eficiencias de remoción pueden alcanzar niveles hasta de 65% de los sólidos suspendidos totales en sistemas primarios convencionales (sedimentación) y 30% de la DBO total. En los sistemas fisicoquímicos cuya unidad de separación sea un sedimentador se pueden alcanzar niveles de remoción del 84% de SST y hasta el 57% de DBO total. En sistemas fisicoquímicos que utiliza flotación por aire disuelto se han reportado eficiencias hasta de 90% de sólidos suspendidos totales. Las microcribas removerán sólidos hasta el tamaño nominal de la abertura de la malla o la rejilla.

## AUTOEVALUACIÓN

1. El tipo de sólidos que remueven las unidades primarias de separación son principalmente:

- a) Inorgánicos.
- b) Orgánicos.
- c) Ambos.

2. Las microcribas se utilizan para remover sólidos en suspensión y materia flotante (V o F).

3. La eficiencia de remoción promedio de un sedimentador primario es de:

- a) 20-30 % de SST y 30 % de DBO.
- b) 50 65 % de SST y 30 % de DBO.
- c) 80-85% de SST y 60 % de DBO.

4. El efluente promedio de flotación por aire disuelto será:

- a) De 5 a 10 mg SST/L.
- b) De 40 a 60 mg SST/L.
- c) De 20 a 30 mg SST/L.



## 4 TRATAMIENTO FISCOQUÍMICO

**Al finalizar esta unidad el usuario será capaz de describir:**

- los componentes de un sistema de tratamiento fisicoquímico.
- los usos recomendados del tratamiento fisicoquímico.
- las eficiencias de remoción que puede alcanzar.

El tratamiento fisicoquímico es un sistema en el cual se agregan sales metálicas y/o polímeros al agua residual cruda para provocar que las partículas en suspensión se desestabilicen, entren en contacto entre sí y, de esta forma, aumenten su tamaño para que sean fácilmente removidas a través de sedimentadores o sistema de flotación por aire disuelto.

La potencialidad del tratamiento fisicoquímico se basa en el hecho de que gran parte de los contaminantes en las aguas residuales municipales están en forma suspendida o coloidal.

En la unidad 1 se señaló que el límite de la fracción filtrable (suspendida) son las partículas mayores que  $1.2 \mu\text{m}$  y representa cerca de 50 % de la materia en suspensión y 30 % de la materia

orgánica total. Sin embargo, en opinión de varios autores, el límite de la materia particulada es de 0.08 mm y abarca hasta 75% de la materia orgánica (medida como DQO). La figura 4.1 ilustra los niveles de remoción de materia particulada en un tratamiento secundario convencional y un tratamiento fisicoquímico.

De acuerdo con lo anterior, las partículas de menor diámetro que pueden ser removidas mediante un tratamiento fisicoquímico oscila entre 0.08 y 0.1 mm y hasta el 75 % de la materia orgánica. Estos niveles de remoción sólo se alcanzan en condiciones muy específicas, por ejemplo, en lugares donde el alcantarillado es relativamente corto y la temperatura media del agua residual es baja. Largos periodos de retención y temperaturas altas del agua residual pueden provocar la degradación de las partículas, ya sea por fuerzas de arrastre, solubilización e hidrólisis enzimática. Bajo estas últimas condiciones la fracción separable por coagulación floculación es menor (Odegaard).

La aplicación más frecuente del tratamiento fisicoquímico es para:

- Aumentar la remoción de sólidos suspendidos y de DBO en las instalaciones de sedimentación primaria o de flotación y sin la intervención

de procesos biológicos (Feetig *et al.*, 1990).

- Acondicionar el agua residual que contiene desechos tóxicos o no biodegradables.
- Aumentar la eficiencia del sedimentador biológico.
- Pretratar el agua con el fin de aumentar la eficiencia de los procesos subsiguientes.
- Disminuir el contenido de fósforo en el agua (Fettig *et al.*, 1989).
- Tratar aguas residuales en climas muy fríos (Odegaard, 1988).
- Acondicionar el agua residual para riego (Gambrill *et al.*, 1989).

De las aplicaciones del tratamiento fisicoquímico se deduce que puede ser un complemento de otros tratamientos, pero también se utiliza como el sistema principal de tratamiento en algunas industrias e, incluso, a nivel municipal.

### 4.1 Sistemas típicos

Las configuraciones más comunes que se utilizan para aplicar el tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales son de tres tipos: el tratamiento primario avanzado, el tratamiento químico primario y el tratamiento químico secundario. La figura 4.2 esquematiza la conformación de estos trenes de tratamiento.

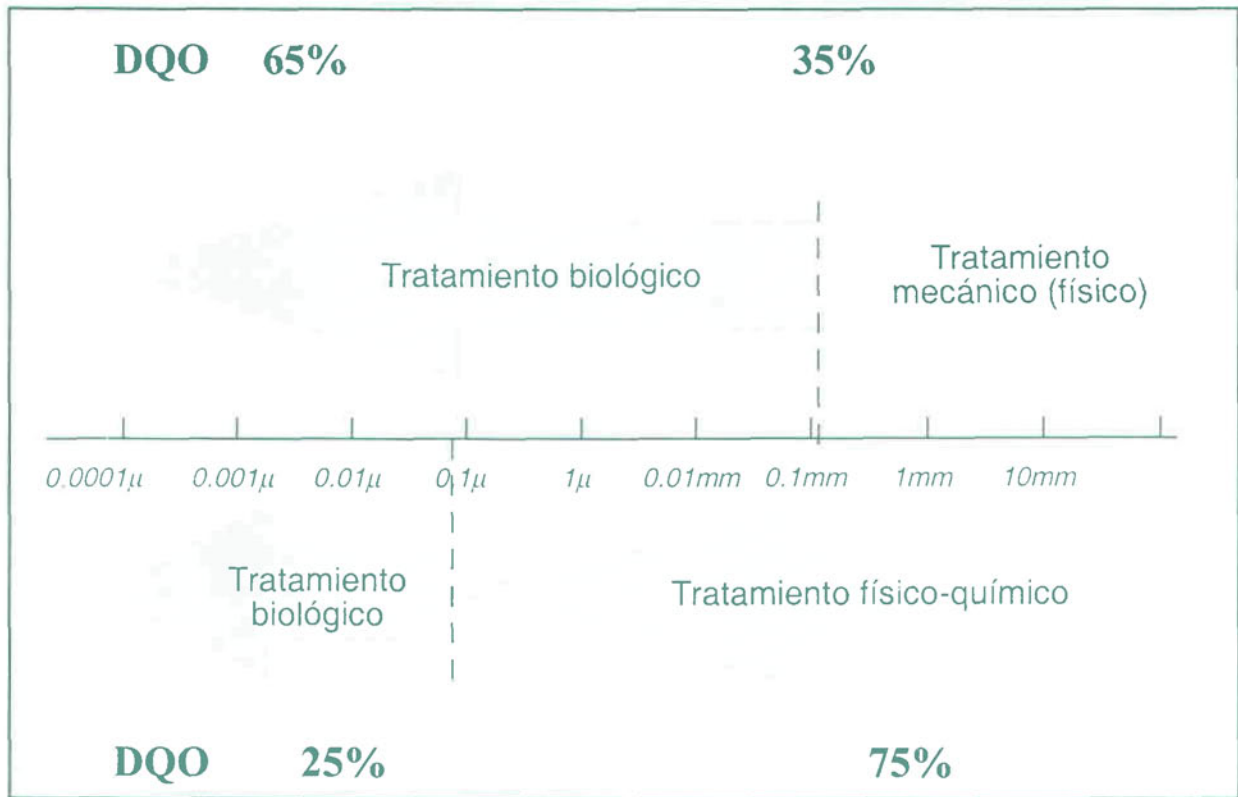


Figura 4.1 Remoción de DQO por diferentes métodos de tratamiento  
(Fuente: Levin et al., citados por Karlsson, 1988).

En cualquiera de estas modalidades es necesario que exista un dispositivo que permita hacer la mezcla rápida del coagulante. Puede tratarse del canal Parshall, de un desarenador aerado, de un mezclador estático en línea (para conductos cerrados) o un tanque de mezclado. Asimismo, deberá contar con un sistema para agregar el polímero al agua.

El tratamiento primario avanzado, normalmente, es una adecuación que se hace a un sedimentador primario ya existente para aumentar la eficiencia del sistema.

El tratamiento fisicoquímico primario tiene un tanque para la floculación y un sedimentador o un sistema de floculación por aire disuelto.

En plantas industriales es posible encontrar una variante del tratamiento fisicoquímico primario conocida como equipo de contacto de sólidos. La ventaja que presenta es que se trata de una unidad compacta y dentro de ella ocurren la coagulación, la floculación y la sedimentación. El manto de lodos que se forma sirve del "filtro" para atrapar a las partículas. De esta forma, se obtiene un efluente clarificado y el espacio requerido disminuye en forma importante. La figura 4.3 es un esquema de un equipo de contacto de sólidos.

El tratamiento fisicoquímico secundario cuenta con un sedimentador primario, una cámara de floculación y un sedimentador secundario.

#### 4.2 Control del proceso

Para que el proceso sea eficiente, es necesario controlar tanto la mezcla rápida

como la mezcla lenta. Estas dos variables se deben combinar para dar un resultado óptimo, formar un flóculo de buen tamaño, capaz de sedimentar, que minimice el consumo de reactivos y maximice la remoción de materia particulada.

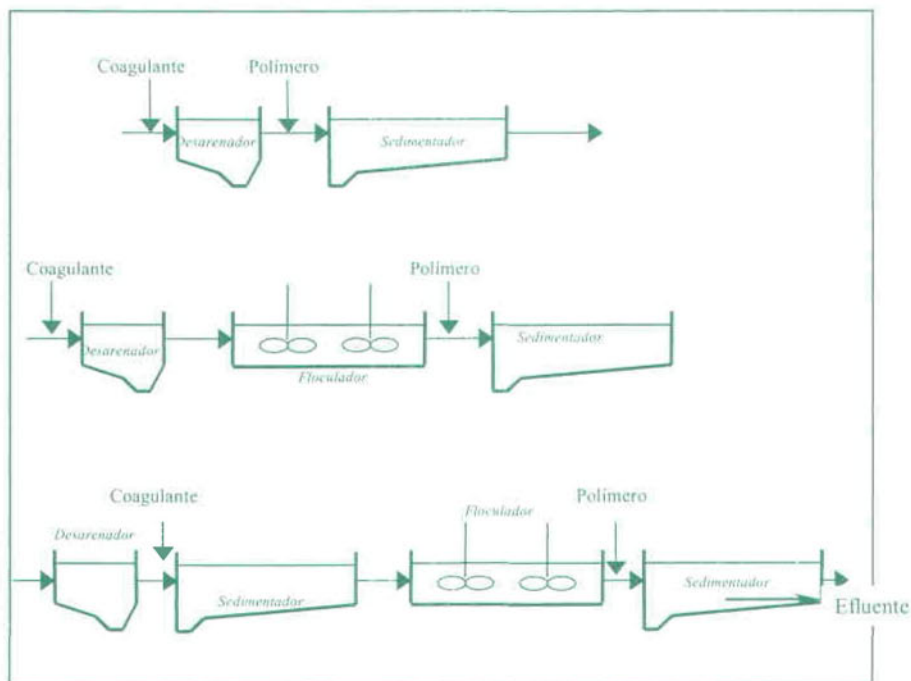


Figura 4.2 Variantes del tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales (Fuente: Shao et al., 1993).



Otro factor importante a tomar en cuenta es el pH. Las sales metálicas utilizadas para la destabilización de las partículas actúan de forma más eficiente en ciertos rangos de pH. Por ello hay que vigilar y controlar el pH del influente.

La forma más eficaz de controlar el proceso es a través de las pruebas de jarras. Es una simulación del proceso hecha en vasos de precipitado de 1 o 2 L, con velocidad de mezclado controla-

da en los cuales se observa a qué pH responde mejor y en qué condiciones de mezcla se obtienen los mejores resultados.

#### 4.3 Producción de lodo

Con el tratamiento primario avanzado hay una mayor producción de lodo primario que por el tratamiento primario convencional. Hay dos razones

fundamentales: la remoción de mayor cantidad de materia en suspensión que la efectuada por el tratamiento físico; segundo, los reactivos necesarios para llevar a cabo el tratamiento, incrementan la masa de lodo.

Harleman (1992) calculó que usando cloruro férrico como coagulante y un polímero la producción de lodo del tratamiento primario avanzado es 64% más alta que en el tratamiento primario convencional. Asimismo, al comparar la producción de lodo en plantas de tratamiento secundario con y sin precipitación, la producción total de lodo solamente es 10% mayor cuando se utiliza el tratamiento primario avanzado.

Es un hecho que al adoptar el tratamiento primario avanzado habrá un aumento de producción de lodo primario. Es necesario tomar en cuenta este incremento en la producción de lodo, ya que este tiene que ser tratado.

Una de las interrogantes que surge para la aplicación del tratamiento primario avanzado es la tratabilidad del lodo, es decir, si el lodo orgánico con sales metálicas y polímeros puede ser tratado de la misma forma que el lodo primario convencional o el lodo biológico aerobio. De acuerdo con Harleman (1992), el lodo del tratamiento primario avanzado puede ser

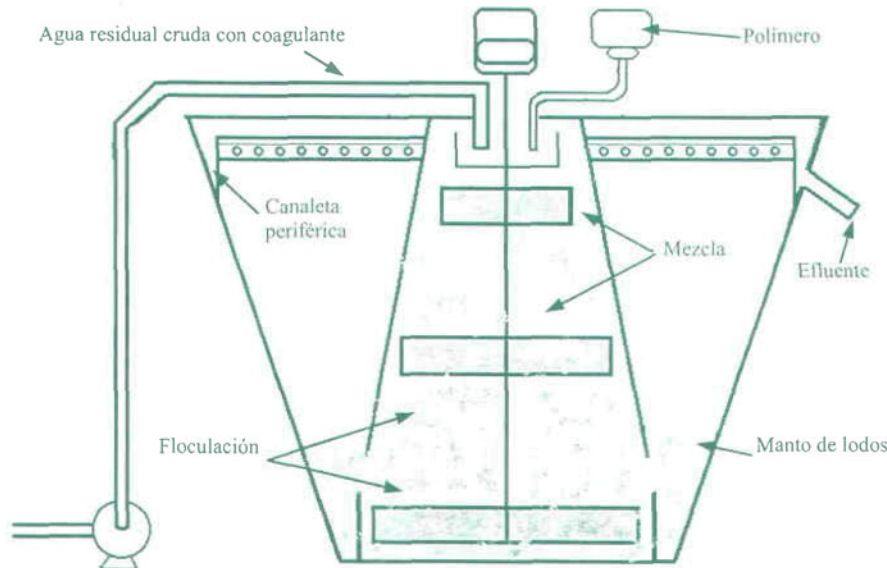


Figura 4.3 Unidad de contacto de sólidos.  
(Fuente: Noyola et al., 2000)



tratado con los mismos métodos que los lodos de desecho de la sedimentación primaria y de los procesos biológicos. González (1997) plantea que al precipitar el lodo primario utilizando sales de hierro como coagulante disminuye la concentración de sulfatos y sulfuros, y la digestión anaerobia de los lodos funciona correctamente.

Se puede decir que el efecto de las sustancias precipitantes de los lodos en la degradación biológica es muy pequeño y de poca importancia práctica.

#### 4.4 Ejemplos de aplicación

##### Ciudad Juárez. Chihuahua.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Juárez, Chih., son del tipo fisicoquímico primario. Los equipos de tratamiento son de una patente conocida como Densadeg (Figura 4.4) que utiliza el contacto de sólidos y la sedimentación tipo lamelar (placas paralelas). El caudal que tratan es de 1 y 2.5 m<sup>3</sup>/s, utilizan sulfato de aluminio como coagulante y un polímero catiónico de alto peso molecular. Con este proceso logran efluentes con DBO menores a 150 mg/L y sólidos suspendidos totales menores a 80 mg/L. Las eficiencias de remoción son de 70% de sólidos suspendidos totales y 40% de demanda bioquímica de oxígeno.

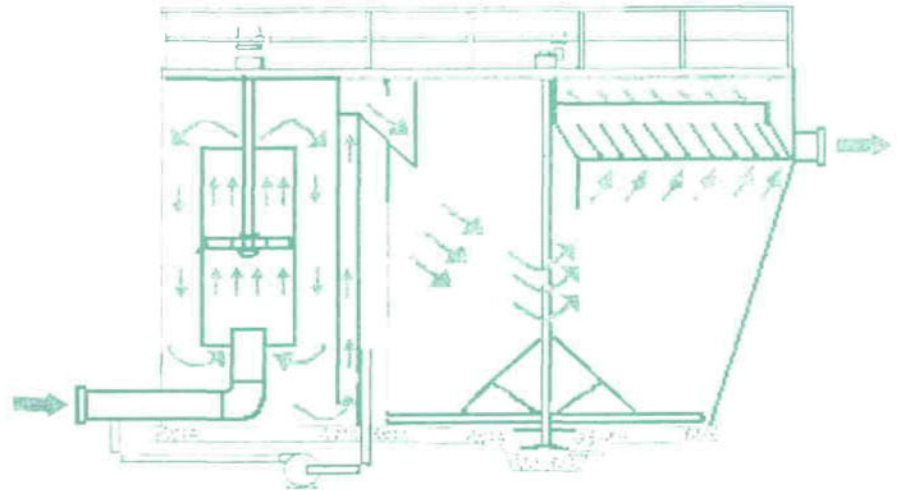


Figura 4.4 Unidad de contacto de sólidos Densadeg.  
(Fuente: Mondeo-Degremont)

## Aguas Blancas, Acapulco, Gro.

La Planta de Tratamiento de Aguas Blancas es un sistema de tratamiento primario avanzado. Los reactivos que utiliza para el tratamiento son sulfato de aluminio y polímero aniónico. La planta incluye los siguientes elementos:

- Rejillas automáticas
- Desarenadores y lavador de gases
- Cárcamo de bombeo de aguas crudas
- Tanques de dosificación de sulfato de aluminio
- Módulos de coagulación-floculación (mezcla rápida y mezcla lenta).
- Clarificadores
- Tanque de contacto de cloro

Una vez que el agua pasa por las rejillas y los desarenadores entra en los módulos de coagulación-floculación. En un tanque de mezcla rápida se añade el sulfato de aluminio y posteriormente se agrega el polímero aniónico. El agua entra en el floculador para continuar con la formación de flóculos.

El siguiente paso es la separación en el clarificador del agua y los sólidos

formados.

Por último, el agua se desinfecta en el tanque de contacto de cloro. El efluente se descarga a través de un emisor en la Playa Olvidada.

La planta cuenta con un sistema de estabilización de lodos con cal, y con un tren de tratamiento de gases para controlar los malos olores.

La tabla 4.1 muestra la eficiencia de remoción de contaminantes y los valores promedio que alcanza la planta

de Aguas Blancas. Cabe señalar que cumple con los valores marcados por la NOM-ECOL-001-1996.

Tabla 4.1 Eficiencia de remoción.

Parámetros	Valores promedio		Eficiencias
	Influyente	Efluente	%
SS mg/L	1.33	0.1	92.48
SST mg/L	130.4	26.64	79.57
SSV mg/L	103.25	19.32	81.29
SDT mg/L	385	356	7.53
DQO mg/L	205	53.48	73.91
DBO mg/L	150	42.88	71.41
CLR mg/L	1.8	1.91	-
TURBIEDAD FTV	159	43	72.96
G y A mg/L	27.73	91	67.18
COLIFORMES FECALES	337	223	99.99

---

## RESUMEN

El tratamiento fisicoquímico es un sistema en el cual se usan sales metálicas y/o polímeros para provocar que las partículas suspendidas floculen. Según algunos autores, hasta 75% de la materia orgánica está asociada a partículas susceptibles de floccular. Las aplicaciones más frecuentes del tratamiento fisicoquímico incluyen la remoción de sustancias tóxicas, remoción de fósforo, aumentar la eficiencia de los procesos de sedimentación y flotación y para acondicionar el agua para riego.

Las configuraciones más frecuentes de los sistemas fisicoquímicos son tres: el tratamiento primario avanzado, el tratamiento fisicoquímico primario y el tratamiento fisicoquímico secundario, y de estas tres configuraciones se derivan algunas variantes de patente.

Para controlar el proceso es necesario vigilar la mezcla rápida, la mezcla lenta y el pH del agua a tratar. La práctica más común y efectiva de control es la prueba de jarras hechas en frascos de uno o dos litros de capacidad.

La producción del lodo es mayor

que en los sistemas convencionales, esto se debe a una mayor remoción de materia suspendida y a la presencia de los reactivos. El lodo generado es susceptible de ser tratado por cualquiera de los procedimientos que se emplean para tratar los lodos de desecho de la plantas de tratamiento de aguas residuales.

Plantas del tipo fisicoquímico se encuentran en México y en todo el mundo. En los países escandinavos es donde han tenido mayor desarrollo.

## AUTOEVALUACIÓN

1. En el tratamiento fisicoquímico del agua residual se agregan:

- a) sales metálicas y polímeros orgánicos.
- b) sales metálicas y nutrientes.
- c) Polímeros orgánicos y nutrientes.

2. ¿Cuál de las siguientes no es una función del tratamiento fisicoquímico?

- a) Remover contaminantes tóxicos o no biodegradables.
- b) Remover materia disuelta.
- c) Eliminar coliformes fecales.

3. El objetivo de la mezcla rápida es:

- a) Romper los microflóculos para aumentar el número de partículas libres.
- b) Aumentar el número de colisiones útiles y dispersar rápidamente los reactivos.
- c) Resuspender la materia sedimentada.

4. ¿Cuál de las siguientes unidades de proceso no es un componente de un sistema fisicoquímico de tratamiento de aguas residuales?

- a) Sedimentador.
- b) Sistemas de flotación por aire disuelto.
- c) Tanque de lodos activados.
- d) Mezclador en línea.
- e) Unidad de flocculación.

5. La generación de lodo residual en un sistema de tratamiento fisicoquímico es:

- a) Igual que la del sistema primario.
- b) Menor que la del sistema primario.
- c) Ninguna de las anteriores.

---

**6. Los lodos de desecho generados por un proceso fisicoquímico de tratamiento de aguas residuales municipales pueden tratarse:**

- a) Sólo por métodos fisicoquímicos porque los métodos biológicos son inhibidos por la presencia de las sales metálicas.
- b) No requieren tratamiento, ya que las sales metálicas eliminan las bacterias y el material putrescible.
- c) Por los mismos métodos que el del lodo primario.



---

## BIBLIOGRAFÍA

Cardoso-Vigueros, L., Moeller-Chávavez, G., Escalante-Estrada, V., Ramírez-Camperos, E., y Lambarri-Beléndez, L. *Diagnóstico Sobre el Manejo de Lodos en la Planta de Aguas Residuales Aguas Blancas en Acapulco, Gro.* Informe. Tratamiento de aguas residuales Municipales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 1999.

Escalante-Estrada, V. E., Sánchez-Guerrero, M., Pozo-Román, F. Y Rivera-Hernández, A. *Identificación y Evaluación de Procesos Biológicos de Tratamiento.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 2000.

Gilberg, L., Eger, L., y Jepsen, E. S. *The Effect of Five Coagulants on The Concentration and Distribution of Small Particles in Sewage Water.* Chemical Water and Wastewater Treatment Proceedings of the 4<sup>th</sup> Gothemburg Symposium. Ed. H. H. Hahn y R. Klute. Springer Verlag. 1990.

Harleman, B. *Chemically Enhanced Primary Treatment for Municipal Wastewater.* Proceeding of the 65<sup>th</sup> Annual Conference and Exposition. Herndon, Virginia, USA. 1992.

McCabe, W. I., Smith, J. C., y Harriott, P. *Unit Operations of Chemical Engineering.* 5<sup>a</sup> Ed. McGraw Hill International. New York. 1993.

Metcalf & Eddy, Inc.. *Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse.* Revisado por Tchobanoglous, G. y Burton F McGraw Hill, 3<sup>a</sup> Ed. Nueva York. 1991.

Noyola-Robles, A., Vega-González, E., Ramos-Hernández, J. Q. y Calderón-Mólgora, C. G. *Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 3<sup>o</sup> Ed. México. 2000.

Odegaard, H. *Coagulation as the First Step on Wastewater Treatment.* Chemical Water and Wastewater Treatment Proceedings of the 4<sup>th</sup> Gothemburg Symposium. Ed. H. H. Hahn y R. Klute. Springer Verlag. 1990.

Shao, Y. J., Liu, A., Wada, F., Crosse, J., y Jenkins, D. *Advances Primary Treatment: An alternative to biological secondary treatment,* The City of Los Angeles Hyperion Treatment plant experience. Proceeding of the 66<sup>th</sup> Annual Conference and Exposition. Anaheim, California. 1993.

Storhaug, R., y Rusten, B. *Upgrading a Primary Treatment Plant for Nutrient Removal.* Chemical Water and Wastewater Treatment Proceedings of the 4<sup>th</sup> Gothemburg Symposium. Ed. H. H. Hahn y R. Klute. Springer Verlag. 1990.

---

## GLOSARIO

**Aguas municipales:** Aguas residuales provenientes de las ciudades y son ricas en nutrientes.

**Aguas residuales:** Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias, domésticas y similares, así como la mezcla de ellas.

**Coagulación:** Procedimiento que consiste en agregar un producto químico (el coagulante) destinado a la desestabilización de la material coloidal dispersa y a su agregación bajo la forma de floculo.

**Coagulante:** Que tiene la propiedad de coagular.

**Coloide:** Dícese de un sistema en el cual las partículas de una sustancia pueden hallarse en suspensión en un líquido, sin tender a acumularse en la superficie ni en el fondo, merced a un equilibrio llamado estado coloidal.

Las partículas coloidales se emulsionan en el seno del líquido y dan una seudolución cuya estabilidad depende de la viscosidad y tensión superficial del solvente y de la carga eléctrica de las partículas coloidales. Esta carga puede ser negativa o positiva, pero siempre del mismo signo para todas las partículas. Por consiguiente estas se repelen y no pueden aglomerarse.

**Contaminantes:** Alteración de las aguas por actividad humana. Los cursos de agua son contaminados por los detritos de las poblaciones, los detergentes domésticos, las industrias agrícolas y los productos químicos vertidos por las fábricas.

**Decantar:** Transvasar un líquido de un recipiente a otro para separarlo de su paso. Separar por decantación dos líquidos que no son miscibles, como el agua y el aceite.

**Densidad:** Relación de la masa de un cuerpo sólido o líquido y la masa del agua, a la temperatura de 4°C, que ocupa el mismo volumen.

**Flóculos:** Partículas macroscópicas formadas en un líquido por floculación generalmente separables por gravedad o por flotación.

**Floculación:** Formación de partículas gruesas por aglomeración de partículas pequeñas; el proceso es generalmente acelerado por medios mecánicos, físicos, químicos o biológicos.

**Hidrólisis:** Descomposición de un cuerpo por la acción del agua, la cual se descompone a su vez en un átomo de hidrógeno y un radical hidroxilo.

**Lodo:** Son sólidos con un contenido variable de humedad, proveniente del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras o de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

---

**Lodo activado:** Masa biológica formada, durante el tratamiento de agua residual, por el crecimiento de bacterias y de otros microorganismos en presencia de oxígeno disuelto.

**Lodo primario:** Es el producto sólido del clarificador o sedimentador primario.

**Materia flotante:** Material que flota libremente en la superficie del líquido y que queda retenido en una malla de material químicamente inerte que se adapte al embudo de filtración especificado en esta Norma, y con abertura de 3 mm.

**Materia orgánica:** Compuesto orgánico compuesto a base de carbón o hidrógeno, a veces combinado con oxígeno, nitrógeno y azufre.

**Polímeros:** Dícese del compuesto cuya molécula se halla constituida por la unión de varias moléculas idénticas.

**Precipitar:** Provocar o producirse la precipitación de una sustancia disuelta

**Relleno sanitario:** Método simple de entierro sanitario de los residuos sólidos.

**Sedimentación:** Operación por medio de la cual, las partículas sólidas suspendidas en un líquido, se asientan debido a la fuerza de la gravedad.

**Sólidos disueltos;** Substancias orgánicas e inorgánicas solubles en agua.

**Sólidos sedimentables:** Materiales que se depositan en el fondo de un recipiente debido a la operación de sedimentación.

**Sólidos suspendidos totales:** Sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño de partícula no pase del filtro estándar de fibra de vidrio.

**Sólidos suspendidos volátiles:** Sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, capaces de volatizarse por el efecto de la calcinación a 823 K (550°C) en un tiempo de 15 a 20 minutos.

**Sólidos totales:** Suma de los sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos.

**Sólidos totales volátiles:** Cantidad de materia, capaz de volatizarse por el efecto de la calcinación a 823 K (550°C) en un tiempo de 15 a 20 minutos.

---

## RESPUESTAS A LAS AUTOEVALUACIONES

AUTOEVALUACIÓN 1	AUTOEVALUACIÓN 2	AUTOEVALUACIÓN 3	AUTOEVALUACIÓN 4
1.- b)	1.- a), b), c), e)	1.- b)	1.- a)
2.- b)	2.- a)	2.- V	2.- c)
3.- c)	3.- a)	3.- b)	3.- b)
4.- b)	4.- c)	4.- c)	4.- c)
5.- d)	5.- b), c)		5.- c)
	6.- a), b), c)		6.- c)
	7.- e)		
	8.- a)		
	9.- b)		



---

# ANEXO

---

---

Carga hidráulica o carga superficial

$$C_H = Q/A = U_T$$

Dividiendo el caudal del agua residual ( $Q$  en  $m^3/s$ ) entre la velocidad terminal de la partícula (en  $m/s$ ) se obtendrá una superficie.

$$A = Q/V_c$$

La capacidad de que el agua clarifique en un sedimentador está dada por la velocidad terminal de la partícula y por el área superficial del sedimentador ( $Q = A \cdot V_c$ ), la carga hidráulica será igual a la velocidad terminal de partícula seleccionada  $C_H = Q/A = V_c$

donde  $A$  es la superficie del sedimentador.

Así, cuando aumente el caudal ( $Q$ ) la carga hidráulica será mayor, lo que implica que sólo se removerán partículas con una velocidad terminal igual o mayor que la nueva carga hidráulica. En consecuencia, la eficiencia de remoción del sistema disminuirá. Si se colocan placas paralelas o lamelas (como las de la figura) se aumenta el área superficial lo que permite aumentar la carga hidráulica sin sacrificar eficiencia. Esta opción debe evaluarse cuidadosamente, ya que los sólidos pueden adherirse a las placas y llegar a obstruir el paso del agua disminuyendo el área de contacto y, además, generando malos olores. Si fuera el caso, se puede llegar a controlar, pero se requiere de una limpieza continua de las placas





**IMTA**

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA

---

CENTRO DE CONSULTA DEL AGUA

PAPELETA DE DEVOLUCION

El lector se obliga a devolver este libro antes del  
vencimiento del préstamo señalado por el último sello

--	--	--

IMTA / CCA / F / PD.

FORMA IMTA-D-036

Apartado Postal 202 CIVAC, Mor. 62500  
Jiutepec, Mor.

# SERIE AUTODIDÁCTICA DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN DEL AGUA (CNA)  
COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA HIDRÁULICA (IMTA)

## SERIE VERDE

ISBN	TÍTULO	AUTORES
968-7417-82-X	FUNDAMENTOS TÉCNICOS PARA EL MUESTREO Y ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES	ANA LUISA ARCE VELÁZQUEZ CÉSAR G. CALDERÓN MÓLGORA ANA CECILIA TOMASINI ORTÍZ
968-7417-85-4	MUESTREO Y PRESERVACIÓN PARA COLIFORMES FECALES Y HUEVOS DE HELMINTO	ANA CECILIA TOMASINI ORTÍZ
968-7417-83-8	MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE GRASAS Y ACEITES, Y DETERMINACIÓN DE CAMPO DE pH, TEMPERATURA Y MATERIA FLOTANTE	ANA LUISA ARCE VELÁZQUEZ
968-7417-86-2	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS PRIMARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	CÉSAR G. CALDERÓN MÓLGORA
968-7417-88-9	AFOROS DE DESCARGAS	ALFREDO A. GONZÁLEZ CAMACHO
968-7417-87-0	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS SECUNDARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	CÉSAR G. CALDERÓN MÓLGORA
968-7417-84-6	MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	RAFAEL F. GÓMEZ MENDOZA MANUEL SÁNCHEZ ZARZA
968-7417-89-7	RIESGO Y SEGURIDAD EN EL MUESTREO Y ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES	ANA LUISA ARCE VELÁZQUEZ ROGELIO LÓPEZ LÓPEZ