



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**“BALANCE DE MATERIA EN UNA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A:  
HUMBERTO ROBLES SALAS**

**ASESOR:**

**DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ**



MÉXICO 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



# DEDICATORIAS

A mis padres, Humberto Robles. Avelina Salas, con un tributo a sus anhelos, por el esfuerzo y confianza que depositaron en mí, por haberme conducido por el buen camino desde el inicio de mis estudios, con profundo agradecimiento y cariño.

A mis hermanos Ma. Ahíme, Ma. Anel, Juan, Guillermo y Jorge Eduardo, por su apoyo moral y confianza, esperando que esta investigación sea un logro más, en el camino de preparación, para llegar a una meta deseada y triunfo.



A mi asesor de tesis, a la Dra. Georgina Fernández por su orientación y compartir con gusto su amistad, conocimiento y experiencia para la elaboración de este documento.

A la FES Aragón por inculcarme el principio que hoy tengo, por brindarme la herencia mas preciada que es el conocimiento que comparten todos los profesores, para ser una persona preparada y afrontar a la sociedad.

A la Ing. Ivonne Álvarez, como agradecimiento a su dedicación y esfuerzo para que saliera bien este trabajo, por su comprensión y deseo de mí superación.



## LISTA DE TABLAS Y FOTOGRAFÍAS

PAGINA

Tabla 2.1	Resumen sobre el funcionamiento del proceso de sedimentación	8
Tabla 2.2	Eficiencia de Remoción de Sólidos y Carga Hidráulica por unidad de Superficie	8
Tabla 2.3	Resumen de los Tanques de Sedimentación Secundaria	11
Tabla 2.4	Resumen de los Tanques de Sedimentación Secundaria	12
Tabla 2.5	Parámetros de Diseño	12
Tabla 2.6	Criterios de Diseño en Lodos Activados	14
Tabla 2.7	Dosis Típicas del Cloro para la Desinfección	19
Tabla 4.1	Características individuales de los módulos	24
Tabla 5.1	Composición típica de las aguas crudas de origen doméstico	50
Tabla 5.2	Composición del agua residual cruda de la planta	51
Tabla 5.3	Composición del agua residual tratada de la planta	52
Tabla 5.4	Resultados obtenidos del análisis de agua tratada.	56
Tabla 5.5	Resultados obtenidos del análisis de agua tratada	58
Tabla 5.6	Características del agua muestreada en la planta (influyente)	59
Tabla 5.7	Resultados arrojados del agua tratada (efluente)	61
Tabla 5.8	Comparativo de Calidad de Agua Tratada	63
Tabla 5.9	Promedio de sólidos suspendidos totales	70
Figura 2.1	Rejillas	6
Figura 3.1	Localización de la planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Aragón	22
Fotografía 3.2	Vista Sur de la Planta de tratamiento San Juan de Aragón	25
Fotografía 3.3	Laberinto de contacto de Cloro de la Planta de San Juan de Aragón	25
Fotografía 3.4	Laguna de almacenamiento de agua de la Planta de Tratamiento Aragón	26
Fotografía 3.5	Bombas del Cárcamo de Agua de la Planta de Tratamiento Aragón	26
Fotografía 3.6	Cárcamo de bombeo de agua cruda a la PTAR.	27
Fotografía 3.6	Tanque elevado para conducción de agua cruda a la PTAR.	27
Fotografía 3.7	Tanque Sedimentador Primario de la Planta Aragón	28
Fotografía 3.8	Basura Recolectada por el Tanque Sedimentador Primario de la Planta	29
Fotografía 3.9	Agua Residual en el Tanque Sedimentador Primario de la Planta	29
Fotografía 3.10	Sistema de Rastras del Sedimentador Primario de la Planta	30
Fotografía 3.11	Perfil del Sistema de Rastras del Sedimentador Primario de la Planta	30
Fotografía 3.12	Sedimentador primario canaletas por donde corre el agua en la planta	31
Fotografía 3.13	Entrada del Licor Mezclado en el Tanque de Aireación en la Planta	32
Fotografía 3.14	Entrada del Agua Residual en el Tanque de Aireación en la Planta	33
Fotografía 3.15	Tanque de Aireación en Procesamiento con los difusores	33
Fotografía 3.16	Tanque de Aireación en Procesamiento con los difusores	34



Fotografía 3.17	Vista frontal caja partidora de Lodos	34
Fotografía 3.18	Tipos de Difusores que tiene el Tanque de Aireación	35
Fotografía 3.19	Tipos de Difusores que tiene el Tanque de Aireación	36
Fotografía 3.20	Tanque sedimentador secundario	37
Fotografía 3.21	Tanque sedimentador secundario	37
Fotografía 3.22	Sedimentador secundario	38
Fotografía 3.23	Agua en el tanque sedimentador secundario	38
Fotografía 3.24	Canaleta en el tanque sedimentador secundario	39
Fotografía 3.25	Agua tratada en el sedimentador secundario	39
Fotografía 3.26	Agua tratada en el sedimentador secundario	40
Fotografía 3.27	Caja partidora de lodos	41
Fotografía 3.28	Tanque de aplicación de cloro	42
Fotografía 3.29	Tanque de contacto de cloro	43
Fotografía 3.30	Laberinto de contacto de cloro	43
Fotografía 3.31	Laguna de almacenamiento de agua tratada	44
Figura 5.1	Diagrama de flujo	64



**BALANCE DE MATERIA EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

**ÍNDICE**

LISTA DE TABLAS Y FOTOGRAFÍAS

**CAPÍTULO I**

INTRODUCCIÓN

I.1	OBJETIVO GENERAL	.....	4
I.2	OBLETIVOS ESPECIFICOS	.....	4
I.3	ALCANCES	.....	4

**CAPÍTULO II**

NIVELES DE TRATAMIENTO

II.1	TRATAMINETO PRELIMINAR	.....	5
II.1.1	REJILLAS	.....	5
II.2	TRATAMIENTO PRIMARIO	.....	6
II.2.1	TIPOS DE SEDIMENTADORES	.....	7
II.2.2	SEDIMENTADOR RECTANGULAR	.....	9
II.2.3	CRITERIOS DE DISEÑO	.....	9
II.2.4	DISPOSITIVOS PARA EXTRACCIÓN DE LODOS	.....	9
II.2.5	FLOTACIÓN	.....	10
II.2.6	TIPOS DE FLOTACIÓN	.....	10
II.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO	.....	11
II.3.1	SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA EN TANQUES RECTANGULARES	.....	13
II.3.2	EFFECTO DE LA TEMPERATURA	.....	14
II.3.3	REQUERIMIENTO DE OXÍGENO	.....	14
II.3.4	EFFECTO DEL pH	.....	15
II.3.5	RELACIONES IMPORTANTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS	.....	15
II.3.6	TRANSFERENCIA DE OXÍGENO	.....	16
II.3.7	SISTEMA DE AIREACIÓN	.....	17
II.3.8	PROCESOS AEROBIOS CON BIOMASA SUSPENDIDA	.....	17
II.3.9	CIRCULACIÓN DE AIRE	.....	18
II.4	DESINFECCIÓN	.....	18
II.4.1	MÉTODOS Y MEDIOS DE DESINFECCIÓN	.....	20





## CAPÍTULO III

## DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

III.1	LOCALIZACIÓN	22
III.2	CARACTERÍSTICAS GENERALES	23
III.2.1	COLECTOR DE ALIMENTACIÓN Y CONDUCCIÓN DE AGUA CRUDA A LA PLANTA	27
III.2.2	TRATAMIENTO PRELIMINAR	28
III.2.3	TRATAMIENTO PRIMARIO	28
III.2.3.1	UNIDADES I Y II	28
III.2.4	TRATAMIENTO SECUNDARIO	32
III.2.4.1	UNIDADES I Y II	32
III.2.5	SISTEMA DE AIREACIÓN	35
III.2.6	SEDIMENTADOR SECUNDARIO	36
III.2.6.1	UNIDADES I Y II	36
III.2.7	SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS	41
III.2.8	DESINFECCIÓN	42

## CAPÍTULO IV

## BALANCE DE MATERIA

IV.1	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN ( BALANCE )	45
IV.2	BALANCES DE CONTAMINANTES	45
IV.3	SÓLIDOS SEDIMENTABLES	48
IV.4	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	48
IV.5	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	48
IV.6	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	49

## CAPÍTULO V

## RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN

V.1	CARACTERÍSTICAS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES	50
V.2	DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS PARA LA REALIZACIÓN DEL BALANCE DE MASA	54
V.3	EQUIPO Y MATERIALES	54
V.4	PROCEDIMIENTO	55
V.5	DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES	56
V.6	DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	56



V.7	DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	.....	58
V.8	DETERMINACIÓN DE LAS SALES DISUELTAS TOTALES	.....	60
V.9	BALANCE DE MATERIA	.....	65
V.10	EVALUACIÓN BALANCE DE MATERIA	.....	77

CAPÍTULO VI

VI	CONCLUSIONES	.....	78
	REFERENCIAS	.....	80



## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

Debido a su limitada disponibilidad, el agua se ha convertido en un importante tema de preocupación internacional; ya que el caudal de agua dulce representa el 2.5 % del volumen existente, en cambio, la población crece y el consumo de agua aumenta debido a la mejora en los niveles de vida de la población. Es por ello que se puede decir, que la cantidad de agua disponible para todos los usos esta comenzando a escasear el agua potable, lo que sin duda, llevará a una crisis del agua (CONAGUA, 2006c).

El agua dulce disponible se ve reducida por la contaminación. Unos dos millones de toneladas de desechos a nivel mundial son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales, químicos, exoneraciones humanas y desechos agrícolas. Asimismo, el efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos es incierto, la precipitación aumentará probablemente en algunas regiones y disminuirá en otras. Se prevé que a mediados del presente siglo al menos dos mil millones de personas en 48 países sufrirán escasez de agua (CONAGUA, 2006c).

En México el crecimiento poblacional y económico han ejercido mayor presión sobre las reservas de agua, al punto que el volumen demandado es mayor que el suministro en algunas regiones del país, lo que ocasiona problemas de distribución. La competencia por este recurso es ya causa de conflictos de diferente intensidad y escala, se presenta no solo entre usuarios de la misma comunidad sino entre distintas comunidades, municipios, estados e incluso en el ámbito transfronterizo.

La urgente necesidad de proveerlos de agua potable, se enfrenta en muchas ocasiones, al problema de la falta de inversión en infraestructura, a la desmedida demanda, al indebido uso del recurso, derivado de la ausencia de una cultura del cuidado del agua. En la segunda mitad del siglo pasado la cantidad de agua disponible por habitante en México disminuyó en 60 % y se prevé que esta tendencia continúe. De 11 mil m<sup>3</sup> de líquido que había por habitante, en promedio nacional, ahora cada persona cuenta con 4 mil 547 m<sup>3</sup>, categoría intermedia de acuerdo con los parámetros internacionales. Se prevé que en el año 2025 el agua por persona en todo el país será baja, con 3 mil 788 m<sup>3</sup> al año, aunque en algunas regiones esta cantidad podría ser todavía menor y llegar a ser de 1000 m<sup>3</sup> (CONAGUA, 2006c).



Dada la problemática anterior, la demanda de agua en el Distrito Federal durante las últimas décadas se ha incrementado de tal manera que resulta necesario establecer ciertos planes para optimizar su manejo, distribución y aprovechamiento, como por ejemplo el tratamiento y reúso de las aguas residuales generadas en la ciudad de México, cuyo objetivo principal es rescatar volúmenes de aguas de primer uso, sustituyéndolas por aguas residuales tratadas, en aplicaciones tales como el riego de áreas verdes, llenado de lagos recreativos, suministro a industrias, recarga del acuífero y a largo plazo para consumo humano (Cuarto Foro Internacional del Agua, 2006).

En las últimas décadas, los problemas relacionados con el déficit del agua de primer uso y la contaminación de las fuentes de agua se han agudizado en México, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas, en las regiones de **mayor concentración de población y en las de desarrollo industrial intensivo**. Entre los fenómenos que son cada vez más frecuentes se encuentra, el agotamiento de acuíferos profundos, la contaminación de acuíferos someros y cuerpos de aguas superficiales, intrusión salina, falta de alternativas económicamente factibles para afrontar la demanda del agua. Están, sin embargo, disponibles grandes cantidades de aguas residuales, las cuales, después de un tratamiento adecuado, pueden ser reutilizadas (Cuarto Foro Internacional del Agua 2006).

Toda comunidad genera residuos tanto sólidos como líquidos, la parte líquida de los mismos a la que se llaman aguas residuales es esencialmente la combinación de los residuos líquidos que provienen de residencias, instituciones públicas, establecimientos comerciales, a los que se les puede agregar aguas subterráneas, superficiales y pluviales. El inadecuado manejo y disposición de dichas aguas puede ocasionar, la acumulación y el estancamiento de las aguas residuales en lugares inapropiados, la descomposición de la materia orgánica que contiene; lo cual puede conducir a la generación de grandes cantidades de gases pestilentes, además de la proliferación de numerosos microorganismos patógenos que habitan en el aparato intestinal humano y que son causantes de enfermedades. Otro problema es que estas aguas, suelen contener nutrientes que pueden estimular un crecimiento indeseable de plantas acuáticas las cuales también pueden incluir compuestos tóxicos (Falcón C. 1980).



Con el tratamiento de las aguas residuales, se mejora el nivel de vida de las comunidades al contar éstas con mayor disponibilidad de agua de calidad, se fomenta el restablecimiento del equilibrio ecológico de sus cuerpos de agua, se reduce la incidencia de enfermedades de origen hídrico al contribuir a crear y fortalecer un medio armónico de convivencia entre la población y la naturaleza. El agua residual tratada se destina al uso agrícola y a la actividad industrial, liberando importantes volúmenes de agua de primer uso en beneficio de la población nacional. Los beneficios de contar con agua de calidad, proporcionada a través de su tratamiento son innumerables, además de que, con ello, se fomenta la cultura en el cumplimiento de la ley (CONAGUA, 2006c).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal están especialmente ubicadas para abastecer a determinadas zonas dentro del área de servicio. Por lo tanto, las características de las aguas residuales sin tratar pueden ser distintas en cada planta, dependiendo del origen del agua, por ejemplo, residual, doméstico o industrial. Los problemas relacionados con el manejo, tratamiento y eliminación de los residuos fecales sólidos que suelen generarse en las plantas de tratamiento de aguas residuales, constituyen otro tema de gran importancia. Sin embargo, por su complejidad no será discutido en este trabajo (CONAGUA, 2006c).

Estos residuos pueden ser peligrosos si no se tratan o se desechan en forma adecuada, sin embargo, ya que el tratamiento de aguas residuales en la zona metropolitana del valle de México, se lleva a cabo principalmente con el propósito de reutilizarlas más que de tratarlas para su eliminación, los residuos contenidos son aparentemente vertidos nuevamente al drenaje, sin ningún tratamiento. El mercado potencial para las aguas residuales recuperadas varía según el tipo de tratamientos empleados, pero puede verse influenciado por las políticas gubernamentales relativas a las tarifas para el agua y al otorgamiento de las licencias para el uso de aguas residuales. Las aguas residuales con altos contenidos de sólidos suspendidos no pueden ser utilizadas en forma directa, por la sociedad e industrias, etc. De ello se deriva el interés por determinar en forma cuantitativa estos parámetros (Cuarto Foro Internacional del Agua 2006).



## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un balance de materia en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas considerando los sólidos suspendidos totales generados en todos los procesos.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Llevar a cabo una revisión bibliográfica sobre el funcionamiento de la plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, considerando los diferentes procesos que la integran.
- Determinar en el laboratorio los sólidos suspendidos totales de las muestras obtenidas en los procesos de la planta tomando en cuenta la normatividad mexicana.
- Evaluar la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales con base en el balance de materia.

## 1.3 ALCANCES

- El estudio se llevará a cabo en la planta de tratamiento de agua residual de San Juan de Aragón, se encuentra ubicada en la colonia de San Juan de Aragón de la delegación Gustavo A. Madero.
- Las muestras serán puntuales y se tomarán en diferentes días y horas.
- Las determinaciones se realizarán en el laboratorio de la planta de tratamiento y en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de C.U.



## **CAPÍTULO II**

### **NIVELES DE TRATAMIENTO**

#### **2.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR**

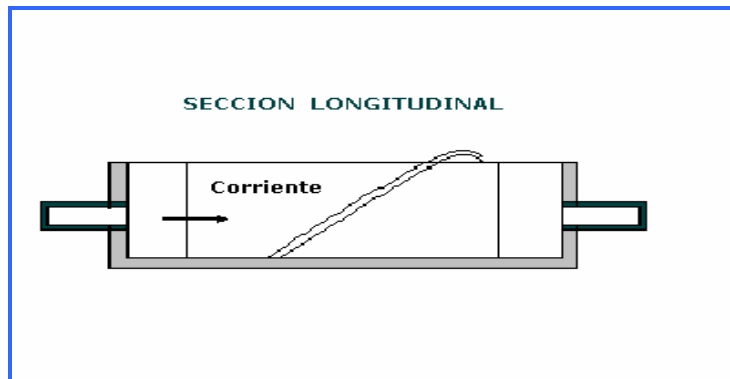
El tratamiento preliminar sirve para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsecuentes del tratamiento. Los dispositivos para el tratamiento preliminar están destinados a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas. Estos sólidos consisten generalmente en trozos de maderas, telas, papel, basura, junto con algo de materia fecal (Helleboe, 1983).

Para alcanzar los objetivos de un tratamiento preliminar se emplean comúnmente los siguientes dispositivos.

1. Rejillas de barras (de anchos variables).
2. Desmenuzadores, ya sea molinos, cortadoras o trituradoras.
3. Desarenadores.

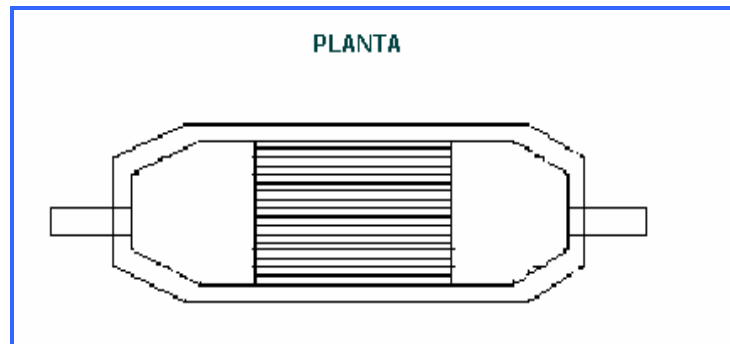
##### **2.1.1 REJILLAS**

Se instalan antes de otros métodos de tratamiento, para eliminar los sólidos flotantes de grandes dimensiones, en algunos casos es el único tratamiento que se requiere antes de verter el agua hacia otro cuerpo de agua. Se componen de barras colocadas verticalmente o formando un ángulo con la horizontal y los espacios ordinariamente son *1 a 3 cm*. Las barras separadoras pueden ser alambres o varillas paralelas, tela metálica o placa perforada con el fin de evitar excesiva pérdida de carga y la posibilidad de los cuerpos no sean retenidos por las barras, los espacios libres entre ellas deben ser tales que la velocidad del agua a su paso por ellas no exceda de *90 cm/s* (Jiménez Cortes, 1994).



**Figura 2.1 Rejilla**

Fuente: (Jiménez Cortes, 1994).



**Figura 2.2 Rejilla**

Fuente: (Jiménez Cortes, 1994).

## 2.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

Los dispositivos que se usan en el tratamiento primario están diseñados para retirar de las aguas negras los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, esto se consigue mediante el proceso físico de sedimentación, a partir de reducir la velocidad de flujo. En el sedimentador primario la velocidad del flujo se reduce hasta 1 ó 2 cm/s en un tanque llamado de asentamiento o sedimentación, durante el tiempo suficiente para dejar que se depositen la mayor parte de los sólidos sedimentables, que son principalmente orgánicos (Helleboe, 1983).





## 2.2.1 TIPOS DE SEDIMENTADORES

La sedimentación es una operación que se utiliza para remover las partículas en suspensión que son más pesadas que el agua. Esta operación es la más ampliamente usada en el tratamiento de aguas residuales. En ingeniería sanitaria se distinguen cuatro categorías de sedimentación (CNA, 1994).

1. Sedimentación Discreta; tal como ocurre en un tanque desarenador. Las partículas se sedimentan independientes unas de otras, conservando su identidad durante el proceso. La eficiencia del proceso está en función de la carga hidráulica por unidad de superficie (CHS).
2. Sedimentación Floculante; ocurre en los tanques de sedimentación primaria y se caracteriza porque durante su descenso las partículas se adhieren entre si modificando, su tamaño, forma y densidad. La eficiencia del proceso es función de la carga hidráulica por unidad de volumen (CHS) y del tiempo de retención (t) que, para una cierta CHS es función lineal de la profundidad del tanque.
3. Sedimentación por Zonas; ocurre en la sedimentación de lodos biológicos. Se caracteriza por que los sólidos se adhieren entre sí en las capas superficiales del tanque y descienden en forma de manto, formando una clara interfase agua-lodo. La eficiencia del proceso es función de la carga hidráulica por unidad de superficie, el tiempo y la carga de sólidos por unidad de superficie (CSS).
4. Compresión; en este caso, la carga de sólidos es tan grande que las partículas descansan unas encima de las otras y la sedimentación depende de la compresión de las capas inferiores. Este proceso tiene lugar en los tanques de espesamiento de lodos.



**Tabla 2.1 Resumen sobre el funcionamiento del proceso de sedimentación (CNA, 1994).**

CRITERIOS DE DISEÑO		
Carga hidráulica superficial	(L/s-m <sup>2</sup> )	(gpd/pie <sup>2</sup> )
Aguas residuales crudas	0.28 a 0.87	600 a 1200
Aguas con flóculos de aluminio	0.17 a 0.28	360 a 600
Aguas con flóculos de hierro	0.25 a 0.38	540 a 800
Aguas con flóculos de cal	0.25 a 0.57	540 a 1200
Tiempo de retención ( h )	1.5 a 3.0	
Profundidad efectiva ( m )	2.0 a 3.5	
Carga hidráulica sobre los vertedores (L/s-m)	1.44 a 4.31	
Velocidad de los extremos de las rastras (cm/s)	5.1 a 7.6	
Pérdida total de carga hidráulica ( m )	0.6 a 0.9	
Generación de lodos (%)	0.25 a 2.0	
Concentración de lodos (%)	3 a 6	
Densidad relativa de los lodos	1.02 a 1.07	

La eficiencia de remoción de los sedimentadores circulares varía de 50 a 65 % de sólidos sedimentables y de 25 a 35 % para DBO<sub>5</sub>. En aguas residuales de origen doméstico, la relación empírica entre eficiencias de remoción de sólidos y carga hidráulica por unidad de superficie (CHS) se indica a continuación (CNA, 1994).

**Tabla 2.2 Eficiencia de Remoción de Sólidos y Carga Hidráulica por unidad de Superficie (CNA, 1994).**

CHS(L/s-m <sup>2</sup> )	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
Eficiencia (%)	71	66	61	56	51



## 2.2.2 SEDIMENTADOR RECTANGULAR

En los tanques rectangulares el influente es distribuido a la entrada de la unidad por medio de baffles verticales o vertedores sumergidos; el objetivo de estas estructuras es lograr una mejor distribución del influente a lo largo de la unidad. El efluente se recolecta por medio de vertedores triangulares colocados en canaletas, frecuentemente en forma de peine o de dedos que se extienden de la pared final del tanque hasta un 20 % de la longitud del mismo. En algunos casos se emplean baffles verticales antes de las canaletas recolectoras para evitar contracorrientes superficiales. Una ventaja de estos tanques es que su geometría permite un mejor aprovechamiento del terreno y una limitante es que las rastras de tracción transversal, empleadas en los tanques rectangulares, son más proclives a fallas mecánicas y estructurales que las rastras de los tanques circulares (CNA, 1994).

## 2.2.3 CRITERIOS DE DISEÑO

Los sedimentadores primarios rectangulares se diseñan con una profundidad de 2 a 3.5 m. la relación largo-ancho es de 1.5:1 a 15:1, el largo mínimo recomendado es de 3 m. La velocidad mínima del agua en los canales de alimentación al sedimentador se recomienda de 30 cm/s. Para lograr una mejor distribución del agua en la entrada al sedimentador se recomienda que el flujo del agua pase a través de orificios ahogados para lograr una mejor distribución del influente a lo largo de la unidad. En sedimentadores rectangulares, con relación largo: ancho y longitudes acordes con las normas antes mencionadas, la carga hidráulica sobre los vertedores de recolección del efluente no afecta la eficiencia del proceso; cuando esta carga es del orden de 85 a 520 m<sup>3</sup>/d-m (CNA, 1994).

## 2.2.4 DISPOSITIVOS PARA EXTRACCIÓN DE LODOS

En los sedimentadores se pueden efectuar la extracción de lodos mediante un dispositivo de purga que funcione en forma continua o intermitente. La frecuencia y duración de las purgas se regula manualmente, o bien con aparatos de relojería, los accesorios para llevar a cabo la extracción pueden ser válvulas automáticas, elevadores de aire comprimido, sifones o bombas; las primeras son generalmente válvulas de membrana cuyo cierre se consigue aplicando presión de agua o aire al exterior de la membrana. Por otro lado, la extracción de lodos muy concentrados se realiza por medio de bombas de desplazamiento positivo (CONAGUA, 2006a).



### 2.2.5 FLOTACIÓN

La flotación es la operación unitaria utilizada para separar partículas líquidas o sólidos de fases líquidas. La separación se lleva a cabo introduciendo burbujas finas de gas (normalmente aire) en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a la materia particulada; así, la fuerza de flotación se vuelve suficientemente grande para causar que la partícula se eleve hacia la superficie. De esta manera, las partículas con densidad mayor a la del líquido pueden elevarse y el ascenso de partículas con densidad inferior a la del líquido es facilitado.

Entre más pequeño sea el tamaño de las burbujas, menor es la velocidad de ascenso. El tamaño de las burbujas puede ir desde 40 micras ( $10^{-6}$  metros) hasta dos milímetros. La principal ventaja de la flotación sobre la sedimentación es que las partículas muy pequeñas o ligeras que sedimentan lentamente pueden ser removidas totalmente por flotación y con un tiempo de retención más corto. (CONAGUA, 2006a).

### 2.2.6 TIPOS DE FLOTACIÓN

Existen tres métodos principales para llevar a cabo la flotación: por medio de aire disuelto, con aire directamente y flotación al vacío (CONAGUA, 2006a).

- Flotación por aire disuelto: El aire se disuelve en el agua residual bajo una elevada presión (40-50 lb/pulg<sup>2</sup>). Después, el flujo presurizado se pasa a través de una válvula reductora de presión al tanque de flotación, donde el aire sale de la solución en forma de micro burbujas (CONAGUA, 2006a).
- Flotación con aire: Las burbujas se forman por la introducción de gas directamente a la fase líquida a través de difusores (CONAGUA, 2006a).
- Flotación al vacío: Consiste en la saturación de agua residual con aire, directamente en el tanque de aeración y permitiendo que el aire entre a la succión de la bomba. Se aplica un vacío parcial, lo que causa que el aire se disuelva en pequeñas burbujas. Las burbujas y las partículas sólidas adheridas se elevan a la superficie para formar un lecho de espuma. La arcilla y otros sólidos más pesados se van al fondo del tanque (CONAGUA, 2006a).

## 2.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

En muchos casos resulta adecuado, para satisfacer los requerimientos de las aguas receptoras, el tratamiento primario con su eliminación de 40 a 60 % de sólidos suspendidos y disminución de 25 a 35 % aproximadamente de la  $DBO_5$ , así como la eliminación del material que flota en las aguas negras. Sin embargo, si un tratamiento primario completo no es suficiente, existen dos métodos básicos de tratamiento secundario que pueden aplicarse, como son: los filtros goteadores y los lodos activados. Pueden usarse también los filtros de arena cuando se desee un alto grado de tratamiento o pulimiento. Aunque los filtros goteadores y los lodos activados dependen de los organismos aerobios para llevar a cabo la descomposición, existen entre ellos una diferencia operacional. En los filtros, los organismos están adheridos al medio filtrante y hacia a ellos va el material orgánico sobre el cual tienen que trabajar. En cambio, con los lodos activados son los organismos los que se llevan hasta la materia orgánica de las aguas negras. En ambos casos, el éxito de la operación estriba en mantener las condiciones aerobias ambientales que son favorables para el ciclo vital de los organismos y en controlar la cantidad de materia orgánica que deben descomponer. La materia orgánica es el alimento con que se sustentan estos organismos y su eficiencia disminuye tanto por una sobrealimentación como por una alimentación deficiente (Helleboe, 1983).

**Tabla 2.3 Resumen de los Tanques de Sedimentación Secundaria  
(CNA, 1994)**

Tipo de Tratamiento	Carga Hidráulica ( $L/s\cdot m^2$ )		Profundidad (m)
	Media	Pico	
De filtros percoladores	0.19 a 0.28	0.47 a 0.57	3.0 a 3.7
De lodos activados (aire) Excepto aireación externa	0.19 a 0.38	0.47 a 0.57	3.7 a 4.6
De aireación extendida	0.09 a 0.19	0.38 a 0.0	3.7 a 4.6
De lodos activados (oxígeno) Con sed. Primaria	0.19 a 0.38	0.47 a 0.57	3.7 a 4.6



**Tabla 2.4 Resumen de los Tanques de Sedimentación Secundaria (CNA, 1994).**

Tipos de Tratamiento	Carga de Sólidos (kg/d-m <sup>2</sup> )	
	Media	Pico
De filtro percoladores	-----	-----
De lodos activados (aire) Excepto aireación externa	98 a 146	244
De aireación extendida	976 a 1953	244
De lodos activados (oxígeno) con sed. Primaria	1953 a 3906	244

Las cargas de sólidos permisibles son generalmente gobernadas por las características del espesador de lodos, asociadas con la operación en climas fríos. La tasa de recirculación de lodos en un proceso de lodos activados varía del 15 al 200 % del flujo de agua a la planta, dependiendo de las modificaciones empleadas. La longitud de los baffles no debe de exceder de 91 cm, por debajo de la superficie del agua. Otros parámetros de diseño son los siguientes (CNA, 1994).

**Tabla 2.5 Parámetros de Diseño (CNA, 1994).**

Carga hidráulica sobre vertedores (L/s-m)	1.44 a 4.31
Velocidad de flujo máxima en la velocidad de los vertedores (cm/s)	0.10 a 0.20
Diámetro de los baffles en la entrada (Porcentaje del diámetro del tanque)	15 a 20

La concentración de lodos en el sedimentador de un sistema de lodos activados varía de 0.5 a 2.0 % dependiendo de las características de concentración y sedimentación de lodos activados. Los sólidos suspendidos en el efluente del sistema varían comúnmente de 20 a 30 mg/L, aunque se han reportado concentrados de 11 a 14 mg/L (CNA, 1994).



### 2.3.1 SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA EN TANQUES RECTANGULARES

El diseño de los tanques sedimentadores secundarios es similar al de los sedimentadores primarios, con excepción de que en el diseño de sedimentadores para lodos activados se deben de considerar grandes volúmenes de sólidos en el licor mezclado. Aún más, el licor mezclado, tiene la tendencia de fluir a la entrada del tanque como una corriente densa e interferir en la separación de sólidos y el espesamiento de los lodos.

Para manejar exitosamente estas características se deben considerar los siguientes factores (CNA, 1994).

- 1.- tipo de tanque deseado
- 2.- carga hidráulica superficial
- 3.- carga de sólidos
- 4.- velocidades del flujo
- 5.- localización de vertedores y carga sobre vertedores
- 6.- recolección de material flotante

El influente del tanque es distribuido al influente de la unidad por medio de baffles y fluye a lo largo del tanque para salir sobre unos vertedores. La longitud máxima es de aproximadamente 300 pies (90 m) con profundidad de 13 a 15 pies (3.7 a 4.6 m). El equipo de remoción de sólidos consiste en un par de cadenas sin fin, con piezas de madera con 2 pulgadas (5 cm) de espesor y 6 a 8 pulgadas (15 a 20 cm) de profundidad, localizada a cada 10 pies (3 m) la velocidad lineal de las cadenas es de 2 a 4 pies/min. (0.6 a 1.2 m/min). También se utilizan rastras para la limpieza de los tanques, fijadas a un puente móvil que viaja a lo largo de la unidad. La colección del material flotante se realiza al final del tanque en el efluente y su remoción puede ser manual, hidráulica o mecánica (CNA, 1994).



**PTabla 2.6 Criterios de Diseño en Lodos Activados son:  
(CNA, 1994).**

Carga hidráulica (L/s-m <sup>2</sup> )	Media 0.19 - 0.38	Pico 0.33 - 0.57
Carga de sólidos (kg-d-m <sup>2</sup> )	Media 70 – 140	Pico 146 - 293
Velocidad de flujo máx. En el Inf. De los vertedores (m/h)	3.66 a 7.32	
Profundidad (m)	3.7 a 4.6	

Las concentraciones máximas de sólidos de lodos en sistemas de lodos activados varían de 0.5 a 2.0 %, dependiendo de las características de sedimentación y de compactación de los lodos. Los sólidos suspendidos totales (SST) en el efluente varían de 20 a 30 mg/L (CNA, 1994).

### 2.3.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA

Todos los procesos de crecimiento son dependientes de las reacciones químicas y estas reacciones son influidas por la temperatura. Así la tasa de crecimiento microbiano se ve afectada por la temperatura. Existe una temperatura en donde el crecimiento de los microorganismos es máximo; la temperatura correspondiente a este punto es llamada temperatura óptima. A mayor incremento de la temperatura, los componentes sensibles al calor de la célula, como las enzimas, son desnaturalizados y el crecimiento microbiano decrece rápidamente.

De igual manera, a bajas temperaturas la actividad de los microorganismos decrece. Para las bacterias aerobias, la temperatura óptima se encuentra cerca de los 20 °C y para las anaerobias este valor es de 35°C (CONAGUA, 2006a).

### 2.3.3 REQUERIMIENTOS DE OXÍGENO

Los organismos que utilizan el oxígeno molecular se conocen como aerobios. Este tipo de organismos se encuentran en los tanques de aeración del proceso por lodos activados, en los biofiltros, en los biodiscos, etc. El oxígeno es utilizado por los microorganismos para dos propósitos: la respiración y la oxidación de la materia orgánica, a las bacterias que se desarrollan en ausencia de oxígeno se les conoce como anaerobias.





Los microorganismos facultativos son aquellos que pueden usar el oxígeno o algún otro compuesto químico como aceptor de electrones. Sin embargo, el crecimiento de estos organismos es más eficiente bajo condiciones aerobias (CONAGUA, 2006a).

#### **2.3.4 EFECTO DEL pH**

El pH es una medida de la acidez o la alcalinidad de las aguas residuales, es medido en una escala de 1 a 14, siendo el 1 extremadamente ácido, 7 neutro y 14 extremadamente básico o alcalino. El agua superficial más saludable se encuentra cercana al pH neutro. Muchas especies acuáticas morirían si el pH de su hábitat cambiara levemente. Todas las aguas poseen un pH y el valor en los cuerpos de agua y el agua residual doméstica varía de 6.5 a 8.5 lo que corresponde a condiciones ligeramente alcalinas debido a la presencia de bicarbonatos, carbonatos y metales alcalinos. En las descargas industriales es posible encontrar niveles extremos de pH: muy ácidos o muy básicos o alcalinos (CNA, 2000).

Para la mayoría de las bacterias y en consecuencia para los procesos de tratamiento de aguas, el intervalo de pH bajo en el cual se desarrollan está comprendido entre cuatro y nueve. El valor óptimo para el crecimiento generalmente se encuentra entre 6.5 y 7.5 en la medida que el pH se aleje de este intervalo, el desempeño de las bacterias se ve disminuido (CONAGUA, 2006a).

#### **2.3.5 RELACIONES IMPORTANTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS**

La relación  $DBO_5/DQO$  indica la fracción biodegradable de los compuestos oxidables al dicromato: esta relación es inferior a uno. Un valor elevado indica que el agua es fácilmente biodegradable. Cuando la relación se encuentra entre 0.3 y 0.5 el resultado es dudoso y los microorganismos podrían requerir de una aclimatación, debido a que el agua puede ser difícil de biodegradar. Por debajo de 0.3 se debe considerar los procesos fisicoquímicos como métodos de tratamiento, pues el agua puede ser tóxica o muy difícil de biodegradar (CONAGUA, 2006a).

Los nutrientes inorgánicos muchas veces pueden ser el material limitante para el crecimiento y la reproducción microbiana. Los principales nutrientes necesarios para los microorganismos son nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio, magnesio, hierro, sodio y cloro, también se requieren de algunos nutrientes, conocidos como factores del crecimiento, ya que sirven en la reproducción celular.



Entre ellos se encuentran los aminoácidos, las vitaminas, las purinas y pirimidinas. La cantidad de  $DBO_5$ , nitrógeno y fósforo que requiere un proceso de tratamiento, depende del TMRC (tiempo medio de retención celular) de los microorganismos y de su velocidad de crecimiento durante la eliminación de la  $DBO_5$ . Generalmente, se acepta como adecuada a una relación de DBO/nitrógeno/fósforo de 100:5:1 (CONAGUA, 2006a).

### 2.3.6 TRANSFERENCIA DE OXÍGENO

Para que los microorganismos aerobios funcionen adecuadamente, necesitan condiciones balanceadas de oxígeno y de alimento. El oxígeno que se suministra por medio del aire, es necesario para que los microorganismos vivos oxiden a los contaminantes y obtengan la energía necesaria para su crecimiento. Cuando se presentan condiciones en donde el oxígeno es insuficiente, disminuyen los organismos aerobios, incrementándose la cantidad de microorganismos facultativos (CONAGUA, 2006a).

Al incrementarse los microorganismos se requieren mayores cantidades de oxígeno. El incremento en la cantidad de alimento en la entrada de la planta promueve el aumento de actividad de los microorganismos y por lo mismo, mayor oxidación; en consecuencia es necesario aumentar la cantidad de oxígeno en el reactor. Se requiere un exceso de oxígeno para la completa estabilización de la materia orgánica.

De esta manera, la medición de la concentración de oxígeno disuelto en el reactor es una prueba esencial de control. Se debe mantener un nivel mínimo de oxígeno disuelto para favorecer que los microorganismos lleven a cabo tratamiento con la eficiencia deseada. Si el nivel de oxígeno disuelto en el tanque de aireación es demasiado bajo, se generan bacterias filamentosas que no sedimentan en el clarificador secundario. Debe mantenerse un nivel adecuado de oxígeno disuelto para que los sólidos sedimenten adecuadamente y la planta produzca un efluente clarificado (CONAGUA, 2006a).



### 2.3.7 SISTEMA DE AIREACIÓN

La aireación del reactor es necesaria para proporcionar la cantidad adecuada de oxígeno a los microorganismos y para mantener niveles de mezclado adecuados. Usualmente se utilizan dos métodos para llevar a cabo la aireación de los microorganismos: aireación mecánica y por difusión.

Existen dos tipos de sistemas por aireación mecánica y se distinguen por su plano de rotación: los aireadores de turbina y los aireadores de paleta. En los sistemas de aireación por difusión (o por burbujas) la transferencia de oxígeno se efectúa de tres maneras, todas basadas en la acción de las burbujas que se forman dentro del agua. Para lo anterior, se suministra aire comprimido a través de los siguientes métodos: (CONAGUA, 2006).

- Toberas o perforaciones llamadas aspersores.
- Medios porosos llamados difusores.
- Dilución de aire a presión en una parte del líquido, el que luego se libera en el cuerpo principal del licor mezclado para que haga efervescencia.

Esta última técnica se conoce como de aire disuelto y se utiliza con mayor frecuencia en los procesos de flotación (CONAGUA, 2006a).

### 2.3.8 PROCESOS AEROBIOS CON BIOMASA SUSPENDIDA

Dentro de los procesos biológicos utilizados para remover los contaminantes del agua, destaca el conocido como lodos activados. En este proceso los microorganismos se encuentran flotando o en suspensión; por tal razón se le conoce como procesos con biomasa en suspensión.

El tratamiento por lodos activados es un proceso biológico secundario de tratamiento de aguas, que utiliza microorganismos para llevar a cabo la descomposición de los residuos. Los lodos activados están formados principalmente por organismos microscópicos llamados bacterias, normalmente las bacterias se agrupan en racimos, formando así los llamados flóculos, bajo ciertas condiciones, las bacterias se encadenan formando filamentos, por ello se conocen como bacterias filamentosas. Cuando su cantidad aumenta se presentan problemas en el sedimentador secundario (CONAGUA, 2006a).



Si bien los microorganismos que degradan la materia orgánica son las bacterias, la actividad metabólica de otros organismos también es importante para el proceso por lodos activados. Por ejemplo, los rotíferos y protozoarios actúan como pulidores del efluente. En ocasiones se pueden presentar hongos, algas y pequeños gusanos llamados nemátodos.

Para operar correctamente un sistema de lodos activados es esencial entender la importancia de los microorganismos para el sistema. Si por alguna razón los microorganismos fallan en la descomposición de la materia orgánica, entonces la calidad del efluente del sedimentador secundario no es satisfactoria. Para que el proceso por lodos activados funcione adecuadamente, el operador debe controlar la cantidad de microorganismos en el sistema, la concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aireación y el tiempo de tratamiento. Cuando estos factores están bajo control, los microorganismos convierten los sólidos solubles y aglomeran las finas partículas en masa, los flóculos. El material tomado por los flóculos es parcialmente oxidado para formar material celular y productos de oxidación. Las cenizas o material orgánico que son adheridas al floculo incrementan su densidad. El mezclado del contenido del reactor ocasiona que los flóculos choquen entre ellos y formen largos racimos. En cierto momento, los flóculos son lo suficientemente pesados para sedimentar en el fondo de un clarificador secundario, en donde pueden ser removidos con facilidad (CONAGUA, 2006a).

### 2.3.9 CIRCULACIÓN DE AIRE

La mayoría de los filtros percoladores en funcionamiento o en construcción utilizan la ventilación natural. Se comprueba que cuando la temperatura del aire es de 6 °C superior a la del agua, se produce una corriente de aire ascendente con una velocidad del orden de 18 m/h, si esta diferencia de temperatura baja a 2 °C no se produce corriente. Si el agua y el aire están a la misma temperatura, también se produce una corriente ascendente de 9 m/h (CONAGUA, 2006a).

## 2.4 DESINFECCIÓN

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. No todos los organismos se destruyen durante el proceso. Esto es lo que diferencia la desinfección de la esterilización, lo cual conduce a la destrucción de la totalidad de los microorganismos. Las tres clases de microorganismos con mayores consecuencias en la producción de enfermedades son las bacterias, virus y quistes amibianos.

Las enfermedades bacterianas típicas transmitidas por el agua son tifus, cólera, paratífus y disentería bacilar. Las enfermedades causadas por virus transmitidas por el agua, incluyen entre otras la poliomielitis y la hepatitis infecciosa. En la actualidad el método más común de desinfección del agua residual consiste en la adición de cloro, sin embargo, solo muy recientemente se ha comenzado a apreciar algunos de los efectos adversos que pueden ser causadas por la adición de cloro como puede ser la posible formación de compuestos cancerígenos, razón por la cual ya se utilizan otros medios para conseguir la desinfección (ozonación y luz ultravioleta) (CONAGUA, 2006a).

Los compuestos del cloro más comúnmente utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gas ( $Cl_2$ ), el hipoclorito de sodio ( $NaClO$ ), y el dióxido de cloro ( $ClO_2$ ). Los hipocloritos de calcio y de sodio son los más usados en las plantas de tratamiento pequeñas, como las plantas paquete; sin embargo, en algunas instalaciones grandes, el hipoclorito es utilizado por razones de seguridad. El agua residual no tratada contiene nitrógeno en forma de amoníaco y en diversas formas de materia orgánica combinada. Dado que el ácido hipocloroso es un agente oxidante muy activo, reacciona rápidamente con el amoníaco presente en el agua residual y forma cloraminas, las cuales también sirven como desinfectantes, aunque reaccionan con extrema lentitud. El hecho de que el cloro libre reaccione con el amoníaco, implica que se debe de agregar una dosis mayor para llevar a cabo la desinfección de las aguas residuales, además de incrementarse los sólidos disueltos totales en el agua residual (CONAGUA, 2006a).

En la siguiente tabla se presenta las cantidades de cloro probables requeridas. Se da un intervalo de dosis, ya que éstas varían según las características del agua residual. Por dicha razón, siempre que sea factible, debe realizarse estudios experimentales para determinar las dosis óptimas de cloro.

**Tabla 2.7 Dosis Típicas del Cloro para la Desinfección,  
(CONAGUA, 2006a)**

Procedencia del efluente	Intervalo de dosis mg/L
Agua residual cruda	6 – 25
Decantación primaria	5 – 20
Precipitación química	2 – 6
Filtros percoladores	3 – 5
Lodos activados	2 – 8
Lodos activados mas filtración	1 – 8



Los lodos de las aguas residuales provienen de los diferentes puntos de tratamientos y se forman según los procesos que se aplica al agua. Los lodos producidos, además de oler mal, tienen gran tendencia a la putrefacción y generación de fauna nociva (moscas, ratas) y microorganismos patógenos. Por ello, es necesario llevar a cabo su tratamiento, el tratamiento de las aguas residuales puede o no realizarse mediante sistemas biológicos, por lo que se puede hacer dos divisiones de tipos de lodos. En los procesos biológicos, que son los más comunes para el tratamiento de las aguas residuales urbanas, los tipos de lodos originados y sus procedencias son los que se enumeran a continuación (CONAGUA, 2006a).

- Lodos primarios, procedentes de la decantación primaria.
- Lodos secundarios, procedentes de la decantación secundaria.
- Lodos mezcla de primarios y secundarios.

También en el tratamiento primario se producen arenas o lodos, por eliminación en los desarenadores y cribas. Se puede obtener el cálculo aproximado del volumen de los lodos con base en su procedencia y el número de habitantes. Las características externas, como son el color, aspecto y olor, facilitan el conocimiento del estado del lodo y su procedencia. Los lodos primarios frescos suelen ser grises y tienen mal olor. Los lodos secundarios tienen generalmente color pardo-amarillento y rara vez huelen mal. El lodo digerido es negro y tiene un olor característico a alquitrán (CONAGUA, 2006a).

El lodo producido es putrescible y al cabo de pocas horas entran en descomposición, por lo que todos los tratamientos tienden a:

- Disminuir el volumen al máximo ( espesamiento )
- Descomponer la materia orgánica ( estabilización )

#### **2.4.1 MÉTODOS Y MEDIOS DE DESINFECCIÓN**

En el campo de tratamiento de las aguas residuales, la desinfección suele realizarse mediante:

1. Agentes químicos
2. Agentes físicos
3. Medios mecánicos
4. Radiación



Los agentes químicos utilizados como desinfectantes son: 1) cloro y sus compuestos, 2) bromo, 3) yodo, 4) ozono, 5) fenol, 6) alcoholes, 7) metales pesados, 8) colorantes, 9) jabones y detergentes sintéticos, 10) compuestos amoniacales cuaternarios, 11) agua oxigenada, 12) diversos álcalis y ácidos. Los desinfectantes más usuales son los productos químicos oxidantes de los cuales el cloro es el más utilizado. El yodo y el bromo son a veces utilizados para piscinas pero no para aguas residuales tratadas. El ozono es un desinfectante muy eficaz y aunque no deja un residual, su uso va en aumento. También se ha utilizado agua alcalina o muy ácida para destruir bacterias patógenas (CONAGUA, 2006a).

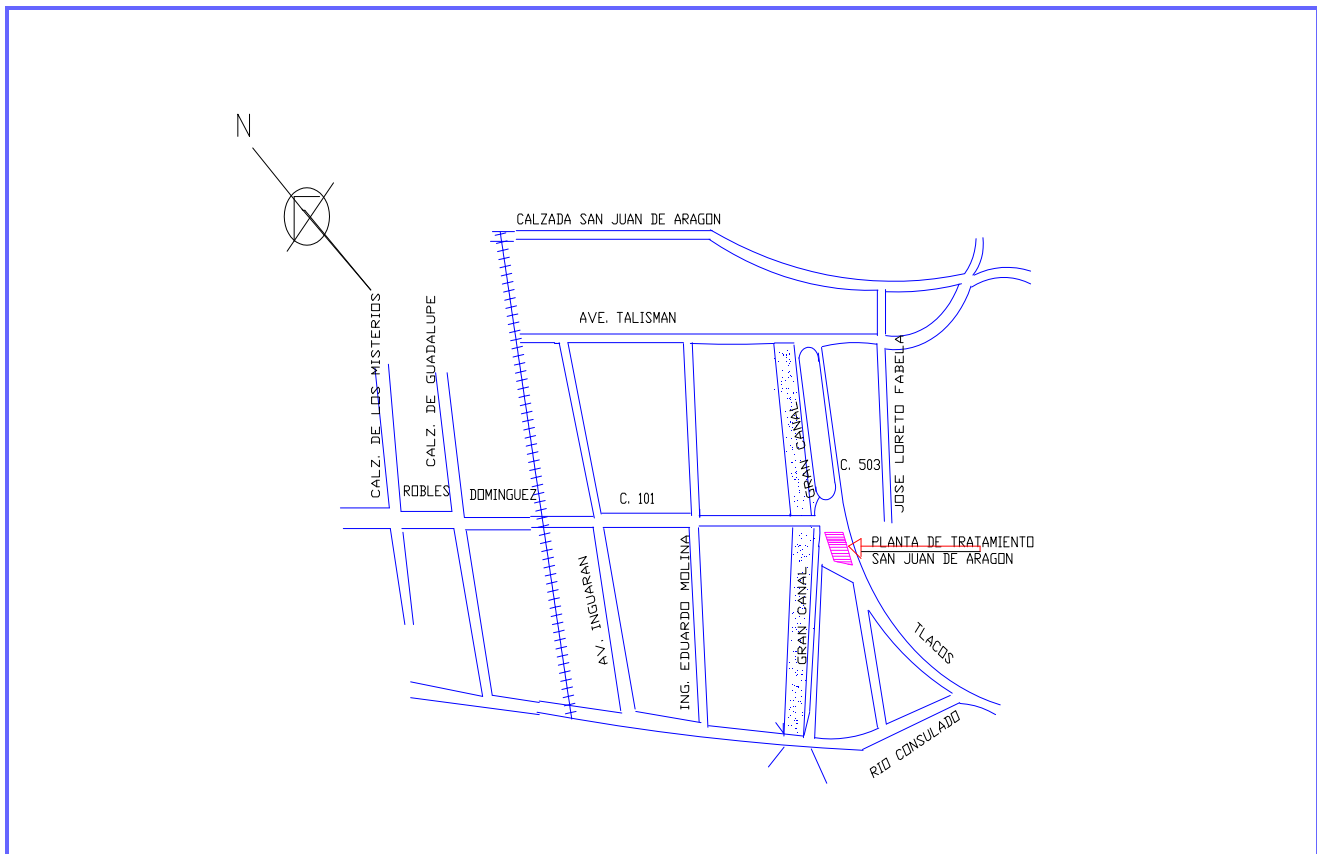


## CAPÍTULO III

### DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

#### 3.1 LOCALIZACIÓN

La planta de tratamiento de aguas residuales de San Juan de Aragón se encuentra ubicada en la colonia de San Juan de Aragón de la delegación Gustavo A. Madero, ocupando una área de 5 hectáreas aproximadamente, al este se encuentra limitada por la avenida 503, al oeste por la avenida del gran canal, al sur por la avenida Tlacos y al norte por la avenida Oriente 101 ( Eje 3 Oriente donde se localiza el acceso principal sin número) (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón 1986).



**Figura 3.1 Localización de la planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Aragón.**

**Fuente:** Manual de operación de la Planta de Tratamiento San Juan de Aragón





### 3.2 CARACTERISTICAS GENERALES

La planta está diseñada para tratar un caudal de 500 L/s por medio de dos unidades de tratamiento de lodos activados convencional (de 250 L/s cada una). El tren de tratamiento consta de: tratamiento preliminar, primario y secundario con difusión de aire comprimido y desinfección además de los equipos que integran la infraestructura de apoyo. La planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con los tratamientos: Preliminar (rejillas de 2.5 cm de abertura). Primario (tanques de sedimentación). Secundario (reactores biológicos, líneas de recirculación, clarificadores secundarios), y químico (tanque de contacto de cloro). (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón 1986).

Esta planta cuenta con dos unidades de tratamiento y trata un gasto de 250 L/s, 125 L/s, para cada unidad. El volumen total de agua tratada es de 21,600,000 L/d, de este volumen 700,000 L/d, son desechados durante todas las etapas de tratamiento (tratamiento primario como sólidos sedimentables), tratamiento secundario (exceso de lodos activados), en su mayor parte, y 20,900,000 L/d, es agua residual tratada para ser reutilizada. La planta cuenta con dos unidades en cada tratamiento por lo que cada una trata 10,800,000 L/d, (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón 1986).



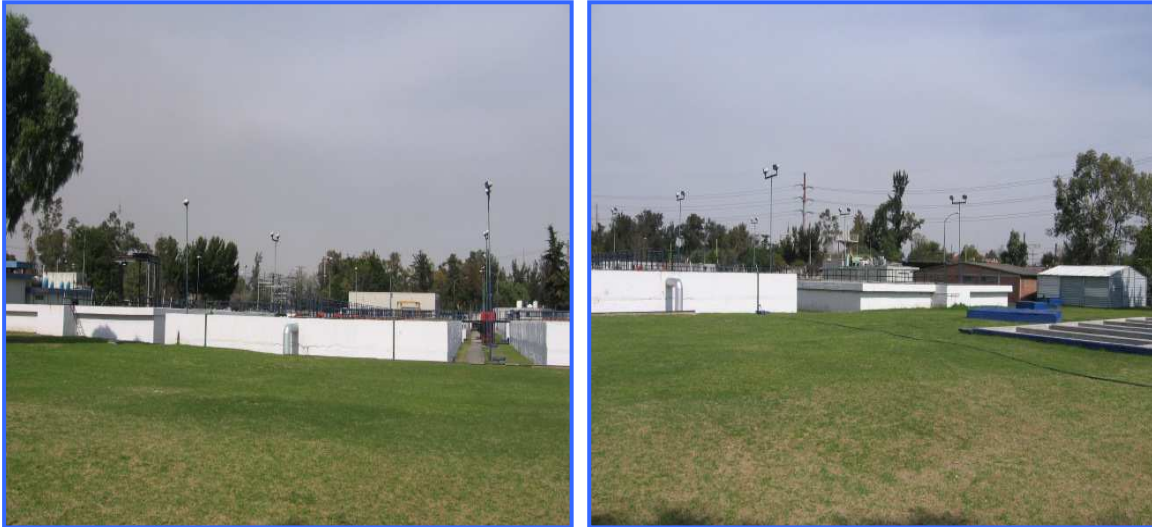
La tabla 4.1 se especifica las características generales de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Juan de Aragón.

**Tabla 3.1 Características individuales de los módulos**

(Datos proporcionados en la Planta)

	Sedimentador Primario	Reactor Biológico	Sedimentador Secundario
	1. Tipo de tanque: rectangular de tipo horizontal. 2. Remoción de lodos: mecánica e hidráulica. 3. Desnatado superficial. 4. Disposición de lodos al drenaje. 5. Inclinação de las Tolvas: 45° 6. Pendiente del piso: 1 %	1. Tipo de tanque: rectangular: flujo espiral, con difusión de aire. 2. Requisitos de aire: 600ft <sup>3</sup> /lb. de DBO <sub>5</sub> . removida. 3. Eficiencia considerada en el primario 30% 4. Capacidad de los tanques: 0.65 m <sup>3</sup> /lb. de DBO <sub>5</sub> , removida. 5. Control de espuma: por aspersión del licor mezclado.	1. Tipo de tanque: rectangular de escurrimiento horizontal. 2. Remoción de lodos: mecánica e hidráulica. 3. Recirculación de lodos, exceso: al drenaje. 4. Carga superficial: 900 Gal/d, ft <sup>2</sup> . 5. Inclinação de las Tolvas: 45° 6. Pendiente del piso: 1 %
Longitud (m)	28	35	36.20
Ancho(m)	8	16	16.10
Altura(m)	3	4	4.15
Volumen (m <sup>3</sup> )	672	2240	2419
Volumen (m <sup>3</sup> )	1344	4480	4837
Caudal (L/s)	125	125	125
Caudal (L/s)	250	250	250
Tiempo de retención (h)	2.98	9.96	5.38

Las siguiente fotografía 3.2 muestra la vista sur de los tanques sedimentadores la planta de tratamiento.



**Fotografía 3.2 Vista Sur de la Planta de tratamiento San Juan de Aragón**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

La siguiente fotografía 3.3 muestra la estructura del laberinto de contacto de cloro



**Fotografía 3.3 Laberinto de contacto de Cloro de la Planta de San Juan de Aragón**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



La fotografía 3.4 se puede apreciar la laguna donde se almacena el agua tratada



**Fotografía 3.4** Laguna de almacenamiento de agua de la Planta de Tratamiento Aragón

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

La fotografía 3.5 muestra las bombas del cárcamo, del agua tratada



**Fotografía 3.5** Bombas del Cárcamo de Agua de la Planta de Tratamiento Aragón

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



### 1.2.1 COLECTOR DE ALIMENTACIÓN Y CONDUCCIÓN DE AGUA CRUDA A LA PLANTA

Antiguamente el agua residual provenía del gran canal de desagüe, sin embargo, actualmente la Planta es alimentada por 2 colectores, Oceanía y Av. 503, por lo tanto, ahora se toma el agua residual directa del drenaje combinado y no del Gran Canal como se estipuló en su diseño. A continuación, se muestran las instalaciones actuales de la planta de tratamiento como son el canal de llegada, el cárcamo de bombeo de agua cruda y el tanque elevado, permitiendo que el agua residual pase a los siguientes módulos por gravedad como se muestra en la (Fotografía 3.6).



Fotografía 3.6 Cárcamo de bombeo de agua cruda a la PTAR.



Fotografía 3.6 Tanque elevado para conducción de agua cruda a la PTAR.

Fuente: Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



### 3.2.2 TRATAMIENTO PRELIMINAR.

El tratamiento preliminar consiste en separar de las aguas residuales los sólidos grandes que pudieran obstruir o dañar los equipos de bombeo, o bien, afectar el proceso de bombeo. Para alcanzar este propósito en la parte final del canal de llegada existe una rejilla que evita el paso al cárcamo de agua cruda, de sólidos gruesos de dimensiones relativamente grandes que estén en suspensión o flotando, en este cárcamo se encuentran tres bombas (una de 50 y dos de 30 H.P. respectivamente) por medio de la cuales se envía el agua cruda a las dos unidades de sedimentación primaria. (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón 1986).

### 3.2.3 TRATAMIENTO PRIMARIO

#### 3.2.3.1 UNIDADES I Y II

El tratamiento primario sirve para separar los sólidos sedimentables, así como grasas, aceites y material flotante que se encuentra en el agua que se va a tratar. Cada unidad consta de un tanque de forma rectangular dividido en dos módulos con alimentación independiente y flujo horizontal. Con el fin de reducir la velocidad del agua, para permitir que los sólidos sedimentables caigan hasta el fondo por acción de la gravedad, se tiene una pantalla deflectora, la cual está ubicada a un metro del punto de alimentación de agua. En cada uno de los dos módulos que conforman el tanque, se recolectan los lodos sedimentados hacia sus tolvas correspondientes (una por módulo).



**Fotografía 3.7 Tanque Sedimentador Primario de la Planta Aragón**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



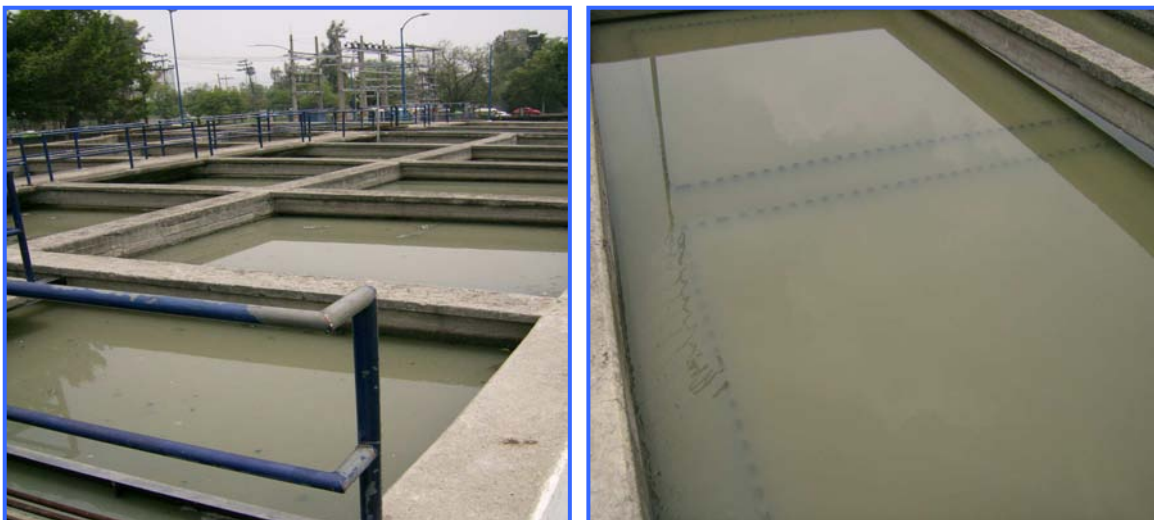
En el sedimentador primario se refleja la función que tiene las rastras para recolectar la basura, que no alcanza a retener las rejillas como se refleja en la fotografía 3.8



**Fotografía 3.8 Basura Recolectada por el Tanque Sedimentador Primario de la Planta**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

En la fotografía 3.9 se puede observar el agua residual, limpia sin exceso de basura.



**Fotografía 3.9 Agua Residual en el Tanque Sedimentador Primario de la Planta**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



Dicha recolección se efectúa por medio de un sistema de rastras uno principal y otro auxiliar, ambos accionados por un motorreductor de 7.5 caballos de fuerza. El desplazamiento horizontal del sistema principal de rastras, barre longitudinalmente el fondo del módulo, arrastrando los lodos sedimentados hacia el extremo de alimentación de agua, depositando parte de ellos en la tolva ubicada en el costado del muro que separa los módulos. La parte restante se aloja en el área adyacente a la tolva y los lodos se arrastran por el sistema auxiliar de rastras, como se ven en las fotografías 3.10 y 3.11 (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón, 1986).



**Fotografía 3.10 Sistema de Rastras del Sedimentador Primario de la Planta**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



**Fotografía 3.11 Perfil del Sistema de Rastras del Sedimentador Primario de la Planta**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



En las fotografías 3.12 se muestra el tipo de canaletas con que cuenta la planta de tratamiento de San Juan de Aragón.



**Fotografía 3.12 Sedimentador primario canaletas por donde corre el agua en la planta**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

Por medio del mismo sistema principal de rastras se lleva a cabo la alimentación de natas y material flotante, ya que aparte de la barrera de fondo del tanque, las rastras recorren el espejo del agua y están parcialmente sumergidas, empujando este material de deshecho hacia una canaletas superficial común para los dos módulos, dichas rastras están ubicadas un poco antes de la salida de agua del tanque.

Los lodos en las tolvas, ya bajo la denominación de lodos primarios y las natas de la canaletas superficial se conducen hacia el drenaje a través de sus válvulas y compuertas correspondientes. Una vez que se ha llevado a cabo la sedimentación primaria el agua se recolecta en un vertedero perimetral, independiente para cada módulo, mediante el cual el agua se conduce a una caja de concreto común para ambos módulos de donde se envía por gravedad a la siguiente etapa del proceso. (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón 1986).



### 3.2.4 TRATAMIENTO SECUNDARIO

#### 3.2.4.1 UNIDADES I Y II

Este tratamiento consiste en proveer los requerimientos de oxígeno, nutrientes y las condiciones ambientales adecuadas para que los microorganismos existentes en el tanque de aireación degraden la materia orgánica y posteriormente se efectúe la separación de lodos activados presentes en el licor mezclado, produciendo un efluente clarificado; para ello, cada unidad de tratamiento dispone de cinco elementos principales, éstos son: tanque de aireación, sopladores, tanque de sedimentación secundaria y el sistema de recirculación de lodos activados, en la fotografía 3.13 se puede apreciar la entrada de agua residual y de lodo activado (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón, 1986).



**Fotografía 3.13** Entrada del Licor Mezclado en el Tanque de Aireación en la Planta

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



En el tanque de aireación, la fotografía 3.14 se puede apreciar la entrada de agua cruda.



**Fotografía 3.14** Entrada del Agua Residual en el Tanque de Aireación en la Planta

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



**Fotografía 3.15** Tanque de Aireación en Procesamiento con los difusores

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



Las fotografías 3.16 se ve el perfil como están, estructurado los difusores en el tanque de aireación.



**Fotografía 3.16 Tanque de Aireación en Procesamiento con los difusores**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

En la fotografía 3.17 se representa la caja partidora de lodos, existente en la planta.



**Fotografía 3.17 Vista frontal caja partidora de Lodos**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



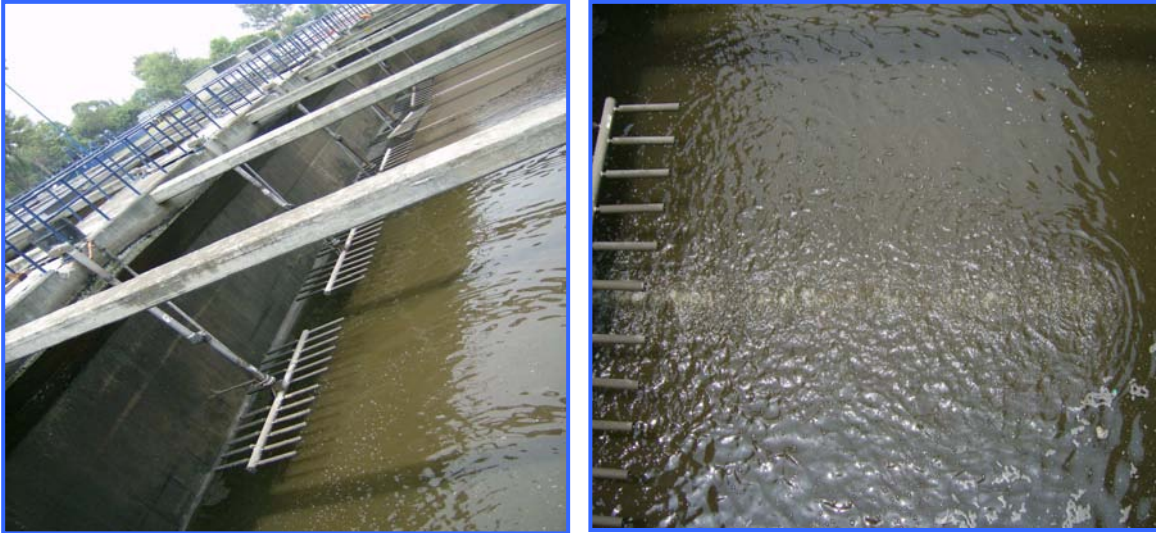
### 3.2.5 SISTEMA DE AIREACIÓN

Cada unidad cuenta con dos tanques, los cuales a su vez se dividen en dos módulos o vasos de forma rectangular comunicados entre sí por medio de un acceso, dispuesto al final de cada tanque, por un muro que los separa. El sistema de aireación es por difusión de aire comprimido, el cual es suministrado mediante la operación alternada de seis sopladores que se accionan cada uno por un motor de 100 (H.P.) caballos de fuerza. El aire llega a las unidades por medio de una tubería de 20 pulgadas de diámetro, se va reduciendo conforme el aire se distribuye a lo largo del tanque. La distribución del aire en cada módulo se lleva a cabo a través de siete cabezales, con sus respectivos brazos articulados, que llegan al fondo de los módulos, donde están instalados los difusores. La alimentación del agua procedente del sedimentador primario, así como también la de los lodos recirculados se lleva a cabo en el módulo número uno, en donde gracias a las condiciones de aireación y mezclado que en él prevalecen se forma lo que se conoce como “licor mezclado”, el cual pasa al modulo número dos a través del acceso, para fluir en él y completar el tiempo de retención necesario para la degradación de la materia orgánica, en la fotografía 3.18 y 3.19 se ve como están distribuidos los difusores en el tanque de aireación (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón,1986).



**Fotografía 3.18 Tipos de Difusores que tiene el Tanque de Aireación**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



**Fotografía 3.19 Tipos de Difusores que tiene el Tanque de Aireación**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

### 3.2.6 SEDIMENTADOR SECUNDARIO

#### 3.2.6.1 UNIDADES I Y II

El propósito principal es efectuar la separación de los lodos activados presentes en el licor mezclado, produciendo un efluente clarificado. Para el logro de este fin, cada unidad de tratamiento está construida por un tanque de forma rectangular, dividido en dos módulos o vasos con alimentación independiente. El tanque sedimentador secundario al igual que el sedimentador primario está provisto de un sistema de rastras principal y otro auxiliar ambos accionados por un motorreductor de siete y medio caballos de fuerza (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón, 1986).

En las siguientes fotografías 3.20 y 3.21 en los tanques, sedimentador secundario se muestra como esta la estructura, del sistema de rastras en el interior del tanque.



**Fotografía 3.20 Tanque sedimentador secundario**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



**Fotografía 3.21 Tanque sedimentador secundario**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez





En la fotografía 3.22 se puede apreciar las canaletas del sedimentador secundario.



**Fotografía 3.22 Sedimentador secundario**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

En la siguiente fotografía se ve el recorrido del agua tratada en el sedimentador secundario.



**Fotografía 3.23 Agua en el tanque sedimentador secundario**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

En la fotografía 3.24 se muestran las canaletas por donde fluye el agua.



**Fotografía 3.24** Canaleta en el tanque sedimentador secundario

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

En la siguiente fotografía se ve como el agua tratada, contiene lodo que esta flotando.



**Fotografía 3.25** Agua tratada en el sedimentador secundario

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez





En la siguiente fotografía 3.26 fluye el agua por las canaletas del sedimentador secundario



**Fotografía 3.26 Agua tratada en el sedimentador secundario**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

En el sistema principal, a diferencia del correspondiente al sedimentador primario, las rastras no recorren el tanque superficialmente, ya que el material flotante incluyendo grasas y aceites ha sido removido en la etapa de sedimentación primaria; es decir, operan totalmente sumergidas y su recorrido por el fondo del tanque permite arrastrar los lodos activados sedimentados hacia el extremo de alimentación de agua y al tanque donde se encuentran ubicadas las tolvas correspondientes (una por módulo).

Por otra parte, el sistema auxiliar de rastras se ubica en las áreas adyacentes a las tolvas, de tal forma que su desplazamiento transversal hacia éstas, permite arrastrar y depositar en ellas los lodos que no alcanza a depositar el sistema de rastreo principal. En la parte final de los módulos se encuentran localizados dos vertedores perimetrales, formados por media caña de tubería de 14 pulgadas de diámetro. Los vertedores son independientes para cada módulo, uniéndose en una abertura que desemboca a una caja de concreto; lugar donde el agua recibe la dosificación de cloro, para pasar posteriormente a su almacenamiento (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón 1986).

### 3.2.7 SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS

Los lodos activados recolectados en las tolvas del sedimentador secundario se extraen mediante la apertura de las válvulas respectivas, para conducirlos a una caja de concreto, que recibe el nombre de “cárcamo de lodos”. De ahí por medio de la operación alternada de tres bombas de 20 caballos de fuerza cada una, los lodos se envían a las dos cajas partidoras, en las que se tiene una compuerta corrediza que permite regular el caudal necesario que debe ser recirculado a los tanques de aireación para mantener la concentración de microorganismos adecuada, para llevar a cabo la degradación de la materia orgánica contenida en el agua. Se envía el exceso al drenaje o a la unidad de tratamiento de lodos para su disposición final más adecuada, fotografía 3.27 (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón 1986).



**Fotografía 3.27 Caja partidora de lodos**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



### 3.2.8 DESINFECCIÓN

El propósito de la desinfección es la eliminación de la mayor cantidad posible de bacterias que no formaron flóculo durante el proceso de lodos activados y que pueden ser dañinas para el hombre. Esto se logra adicionando una solución de cloro al efluente del sedimentador secundario. La inyección de la solución de cloro al agua se lleva a cabo directamente en la caja de salida de las dos unidades de sedimentación secundaria, de tal forma que durante su trayecto al tanque de contacto de cloro y completando un tiempo de retención hidráulica de 45 min, se realiza la desinfección, fotografía 3.28



**Fotografía 3.28 Tanque de aplicación de cloro**

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

El cloro se extrae de cilindros de 908 kg en forma de gas por medio de un conector múltiple unido a un sistema de dosificadores en los cuales se combina con agua tratada proveniente directamente de los sedimentadores secundarios. Ya en forma de solución se envía por medio de una tubería al punto de aplicación (Manual de Operación Planta de Tratamiento San Juan de Aragón 1986).



Después de todo el proceso que paso el agua residual, es conducido al tanque de contacto de cloro como se ve en la fotografía 3.29



**Fotografía 3.29** Tanque de contacto de cloro

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez

En la siguiente fotografía 3.30 muestra la estructura del laberinto de contacto de cloro.



**Fotografía 3.30** Laberinto de contacto de cloro

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez



Finalmente el agua tratada y desinfectada es conducida a una laguna de almacenamiento de agua tratada, con capacidad para 14 000 m<sup>3</sup>, de donde se toma para diferentes usos y servicios.



**Fotografía 3.31** Laguna de almacenamiento de agua tratada

**Fuente:** Fotos proporcionadas por la Ing. Patricia Ivonne Álvarez Yáñez





## **CAPÍTULO IV**

### **BALANCE DE MATERIA**

#### **4.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN (BALANCE)**

El principal método de análisis del sistema son los balances de agua y de contaminantes y su principal función es encontrar inconsistencias entre la información recabada o proporcionada por los usuarios y las mediciones reales que se realicen. Los balances deberán realizarse para cada sector y cada uno de los contaminantes que se hayan detectado en el sistema. Cuando los balances coincidan, se podrá decir que la caracterización del sistema es adecuada, de no coincidir o presentar inconsistencias, se deberá continuar con las tareas de identificación y localización de usuarios, hasta llegar a un nivel de concordancia aceptable. Estos niveles podrán definirse como aceptables en una primera etapa, a partir de la localización e identificación de al menos tres cuartas partes de las fuentes de la carga de contaminantes y de volumen de agua residual en el sistema (CNA, 2000).

Cualquier balance parte del principio de que todo lo que entra a un sistema, sale, se acumula o se transforma (Ley de Conservación de la Materia). Los balances pueden realizarse en todo el sistema, en sectores o grupos de ellos, en subsectores e inclusive en tramos de tubería, lo importante es poder definir claramente donde empieza y acaba el sistema, es decir, cuáles son las entradas y cuáles las salidas (CNA, 2000)

#### **4.2 BALANCE DE CONTAMINATES**

El balance de contaminantes se realiza con base en la carga (masa) de un contaminante en particular, es decir, la cantidad que se descarga en la unidad de tiempo. Generalmente la carga se expresa en kg/d o toneladas/d, dependiendo del tamaño del sistema y se obtiene de multiplicar la concentración del contaminante en el agua por el gasto (CNA, 2000).



La ecuación de balance para un contaminante debe considerar las entradas de éste al sistema, sus transformaciones y salidas. A diferencia del balance de agua en el cual no se lleva a cabo ningún tipo de transformación que afecte al gasto, en este caso las transformaciones del contaminante pueden ser muy importantes, en especial para aquellos contaminantes que se vayan degradando, (por ejemplo la materia orgánica), que se volatilicen o que reaccionen y se transformen, ya sea química o biológicamente (por ejemplo cianuro). Por esta razón y las múltiples interacciones que puedan darse en las aguas residuales, es aconsejable que los balances de contaminantes se realicen en subsectores o pequeñas secciones o tramos del sistema, en lo que se pueda asegurar que las transformaciones no son importantes (CNA, 2000).

Al realizar un balance de contaminantes en grandes sectores o en todo el sistema, se debe tomar en cuenta que las transformaciones que pueden ocurrir serán muy importantes y que gran parte de un contaminante puede precipitarse por variaciones de pH, adsorberse en los sólidos o volatilizarse por incrementos en la temperatura. Por lo tanto, es importante asegurarse de que estos efectos son mínimos o que de alguna manera pueden medirse, para realizar el balance (CNA, 2000).

La ecuación de balance para un contaminante, considerando que no sufre ninguna transformación, es la siguiente.

$$M_i = Md_i + \sum Mu_i$$

Donde:

$M_i$ : Carga del contaminante  $i$  en el punto final seleccionado

$Md_i$ : Carga del contaminante en las aguas residuales domésticas

$\sum Mu_i$ : Sumatoria de las cargas de todos los usuarios que descargan el contaminante

En sentido estricto, ambos lados de la ecuación deben ser iguales, sin embargo, con fines prácticos, si la diferencia es aproximadamente el 10 %, el balance se considera aceptable. Esto puede expresarse de la siguiente manera (CNA, 2000).

$$\left[ M_i / (Md_i + \sum Mu_i) \right] * 100 = \pm 10\%$$



Se debe considerar que el volumen de lodo crudo nunca es el mismo del lodo tratado que sale del esquema de tratamiento. Cada proceso sucesivo de lodo tiende a disminuir el volumen, por medio de la compactación y la eliminación de agua y la masa del sistema (solamente la digestión).

Asimismo, la concentración de sólidos suspendidos va cambiando a través de cada uno de los procesos y la concentración de sólidos que entran en cada proceso unitario, el estimador de costos deberá llevar a cabo el siguiente procedimiento (CNA, 1999)

1. Calcular el volumen, concentración de lodos y peso de los sólidos secos del lodo producidos en el tren de tratamiento de aguas residuales.
2. Dibujar un diagrama de flujo del tren propuesto para el tratamiento de lodos.
3. Identificar todas las corrientes que entran y salen de cada proceso de manejo de lodos. Las corrientes consistirán, básicamente, en corriente de entrada, de salida y de flujo.
4. Para cada proceso, identificar y calcular la relación entre las corrientes de entrada y de salida, en términos de masa, volumen y concentración de lodos. Para poder llevar a cabo este punto, es necesario conocer la capacidad de captura de lodos y los parámetros de conversión para cada proceso de tratamiento de lodos dependen de una serie de factores, incluyendo:
  - Tipo de lodo a tratar, particularmente del porcentaje de lodo activado.
  - Si el lodo ha sido estabilizado o no.
  - Tipo y cantidad utilizada de sustancias químicas para acondicionar los lodos.
  - Tasas de carga hidráulica y de masa de cada proceso.
5. Tabular el volumen de lodos y la concentración de sólidos para cada corriente identificada en el punto 3 (CNA, 1999).



### 4.3 SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Son aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono imhoff) en el transcurso de 60 minutos, expresados en unidades de mL/L, constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodos que se obtendrá en la segmentación primaria del agua residual.

En el sistema de alcantarillado el azolve que se va formando por la deposición de sólidos puede generar taponamientos y condiciones anaerobias, que a su vez generan gases (ácido sulfhídrico, metano) con los consecuentes efectos negativos en la infraestructura de la red, en los sistemas de tratamiento un alto contenido de este tipo de sólidos genera gran cantidad de lodos primarios y potencialmente una sobrecarga en los desarenadores (CNA, 2000).

### 4.4 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los sólidos suspendidos totales (SST) son la materia particulada que se retiene en un filtro de fibra de vidrio con tamaño de poro de  $0.45 \mu\text{m}$  y permanece al evaporar el agua entre  $103$  y  $105^\circ\text{C}$ . Este parámetro es una medida de la concentración de partículas sólidas que están suspendidas en el agua residual, reduciendo la profundidad a que la intensidad de la luz penetra en los sistemas acuáticos. Estas partículas también transportan contaminantes, como metales pesados. El aumento de sólidos suspendidos, también es resultado de fuentes antropogénicas que incluyen descargas de agua residual, doméstica, industrial, comercial. Los sólidos suspendidos en el agua incrementan su turbiedad aunque no hay una relación universal pues depende del tamaño y de la distribución de las partículas involucrada (CNA, 2000).

### 4.5 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

Es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente utilizado y aplicado tanto en aguas residuales como en aguas superficiales. Esta determinación involucra la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica en un periodo determinado, generalmente 5 días, por lo que se expresa como  $\text{BDO}_5$ . Las razones por las que la prueba de DBO es tan utilizada son:



1. Determina la cantidad aproximada de oxígeno que será requerido para la estabilización biológica de la materia orgánica presente.
2. Es un parámetro para dimensionar las instalaciones del tratamiento biológico de las aguas residuales.
3. Mide la eficiencia de algunos procesos de tratamiento.
4. Para controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetas las descargas de aguas residuales (CNA, 2000).

#### **4.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)**

Es una medición indirecta de contenido de materia orgánica, que se obtiene mediante la medición de la cantidad de oxígeno necesario para oxidar toda la materia presente. La prueba se realiza con un oxidante muy fuerte como el dicromato de potasio. La DQO es equivalente a las mediciones de  $DBO_5$ . Ya que ambas pruebas miden el contenido de materia orgánica: sin embargo los valores obtenidos en la DQO tienen la ventaja de realizarse en un par de horas a diferencia de los cinco días que requiere la  $DBO_5$ , además de que no se afecta por la presencia de contaminantes tóxicos que en el caso de la  $DBO_5$  inhiben la actividad de los microorganismos. Para la misma agua residual es posible obtener una correlación entre ambos parámetros, lo que representa ventajas económicas. Para aguas de tipo doméstico la relación de  $DBO_5/DQO$  varía entre 0.4 y 0.8. en aguas residuales industriales los valores pueden ser mayores (CNA, 2000).



## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN**

#### **5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y MUNICIPALES**

En esta sección se presenta un resumen de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales domésticas. En el cuadro 5.1 se muestran datos típicos de parámetros individuales presentes en las aguas residuales de origen doméstico o municipal. El agua residual municipal es clasificada como fuerte, media o débil, dependiendo de la concentración de los diferentes contaminantes. Es importante mencionar que la concentración varía con la hora del día, el día de la semana, el mes del año (la estimación), tamaño de la población y otras condiciones locales (CNA, 1994).

**Tabla 5.1 Composición típica de las aguas crudas de origen doméstico  
(CNA, 1994)**

PARAMETRO	CONCENTRACIÓN		
	ALTA	MEDIA	BAJA
Sólidos Totales	1200	720	350
Sólidos Disueltos Totales	850	500	250
Sólidos Disueltos Fijos	525	300	145
Sólidos Disueltos Volátiles	325	200	105
Sólidos Suspendidos Totales	350	220	100
Sólidos Suspendidos Fijos	75	55	20
Sólidos Suspendidos Volátiles	275	165	80
Sólidos Sedimentables (mL/L)	20	10	5
DBO <sub>5</sub> (a 20°C)	400	220	110
Carbono Orgánico Total	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno (total como N)	85	40	20
Nitrógeno Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fosfatos (como P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros (b)	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
Grasas	150	100	50

a Unidades en mg/L, excepto los sólidos sedimentables

b Valor que debe ser incrementado de acuerdo con la cantidad de suministro de agua





**Tabla 5.2 Composición del agua residual cruda de la planta de tratamiento San Juan de Aragón**  
(Datos proporcionados en la Planta)

CONTAMINANTES	UNIDADES	CONCENTRACIÓN
pH	UpH	7.63
Sólidos Totales	mg/L	1533.28
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1317.44
Sólidos Fijos Totales	mg/L	1146.78
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	386.50
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	215.83
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/L	64.47
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	151.36
Sólidos Sedimentables (mL/L)	mg/L- 60'	3.64
DBO <sub>5</sub> (a 20°C)	mg/L	258.44
Carbono Orgánico Total	mg/L	-
DQO	mg/L	440.67
Nitrógeno (total como N)	mg/L	51.59
Nitrógeno Orgánico	mg/L-	-
Amoniacal	mg/L	37.05
Nitritos	mg/L	-
Nitratos	mg/L	0.11
Fosfatos (como P)	mg/L	37.59
Orgánico	mg/L	-
Inorgánico	mg/L	-
Cloruros (b)	mg/L	216.41
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	-
Grasas y Aceites	mg/L	24.42

- Contaminantes que no se mide en la planta.

**Tabla 5.3 Composición del agua residual tratada de la planta de tratamiento San Juan de Aragón**  
(Datos proporcionados en la Planta)

CONTAMINANTES	UNIDADES	CONCENTRACIÓN
pH	UpH	7.83
Sólidos Totales	mg/L	1224.89
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1224.39
Sólidos Fijos Totales	mg/L	1043.22
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	181.67
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	4.06
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/L	4
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	4.06
Sólidos Sedimentables (mL/L)	mg/L-60'	0.10
DBO <sub>5</sub> (a 20°C)	mg/L	2.22
Carbono Orgánico Total	mg/L	-
DQO	mg/L	43.64
Nitrógeno (total como N)	mg/L	2.38
Nitrógeno Orgánico	mg/L-	-
Amoniacal	mg/L	0.29
Nitritos	mg/L	-
Nitratos	mg/L	13.57
Fosfatos (como P)	mg/L	26.32
Orgánico	mg/L	-
Inorgánico	mg/L	-
Cloruros (b)	mg/L	202.52
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	-
Grasas y Aceites	mg/L	7.36



## 5.2 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS PARA LA REALIZACIÓN DEL BALANCE DE MATERIA

1. Deben tomarse un mínimo de 500 mL de muestras en envases de polietileno y taparse inmediatamente después de la colecta. Pueden utilizarse muestras compuestas o simples.
2. No se requiere de ningún tratamiento específico en campo.
3. Debe preservarse la muestra a 4 ° C hasta su análisis.
4. El tiempo máximo de su almacenamiento previo al análisis es de 7 días, sin embargo, se recomienda realizar el análisis dentro de las 24 h posteriores a su colecta. Las muestras deben de estar a temperatura ambiente al momento del análisis.

## 5.3 EQUIPO Y MATERIALES

### Equipo

- Bomba de vacío
- Estufa eléctrica, para operar de 103 °C a 105 °C
- Balanza analítica con precisión de 0.1 mg
- Mufla eléctrica para operar a 550 °C  $\pm$  50°C

### Materiales

- Cápsulas de evaporación adecuadas al volumen de la muestra
- Desecador, provisto con un desecante que contenga un indicador colorido de humedad
- Crisol Gooch con poro fino con adaptador de hule para el equipo de filtración
- Matraz kitazato de 1 L a 2 L de capacidad
- Filtro de fibra de vidrio de tamaño adecuado al crisol Gooch utilizado con una porosidad de 2  $\mu$ m o menor
- Pinzas para crisol
- Guantes para protección al calor
- Careta para protección al calor



## 5.4 PROCEDIMIENTO

### Preparación de cápsulas de porcelana

1. Las cápsulas se introducen a la mufla a una temperatura de  $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ , durante 20 minutos como mínimo. Después de este tiempo transferirlas a la estufa a  $103^{\circ}\text{C} - 105\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente 20 minutos.
2. Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
3. Pesar las cápsulas y registrar los datos.
4. Repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtendrá hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0.5 mg.

### Preparación de los crisoles Gooch

1. Introducir el filtro de fibra de vidrio en el crisol con la cara rugosa hacia arriba, mojar el filtro con agua destilada, para asegurar que se adhiera al fondo del crisol.
2. Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de  $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ , durante 20 minutos como mínimo. Después de este tiempo transferirlos a la estufa a  $103 - 105\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente 20 minutos.
3. Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
4. Pesar los crisoles y repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtiene hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0.5 mg.

### Preparación de la muestra

- Sacar las muestras del sistema de refrigeración y permitir que alcancen la temperatura ambiente. Agitar las muestras para asegurar la homogeneización de la muestra (NMX-AA-034-SCFI-2001)



## 5.5 DETERMINACIÓN PARA SÓLIDOS TOTALES (ST)

1. En función de la cantidad de sólidos probables tomar una cantidad de muestra que contenga como mínimo 25 mg/L de sólidos totales, generalmente 100 mL de muestra es un volumen adecuado.
2. Transferir la muestra a la cápsula de porcelana que previamente ha sido puesta a peso constante.
3. Llevar a sequedad la muestra en la estufa a 103 °C – 105 °C o en un baño de vapor.
4. Enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante.

Los resultados se expresan en ppm de sólidos totales. El peso de la cápsula después de la evaporación de la muestra (4) menos el peso de la cápsula vacía (2) es igual al peso de los sólidos totales, en gramos (NMX-AA-034-SCFI-2001).

$$(P_1 - P_{de, cápsula}) * \frac{1,000,000}{mL.de.muestra} = \text{ppm de sólidos totales}$$

Ejemplo

$$(52.7203 - 52.6966) * \frac{1,000,000}{20} = 1185.0 \text{ ppm}$$

## 5.6 SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES

$$(P_1 - P_2) * \frac{1,000,000}{mL.de.muestra} = \text{ppm de sólidos totales}$$

Ejemplo

$$(52.7203 - 52.7156) * \frac{1,000,000}{20} = 235 \text{ ppm}$$



**Tabla 5.4 Resultados obtenidos del análisis de agua tratada. Determinación de sólidos y sales disueltas (Análisis realizados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental en C.U. 2007)**

N. de muestra	Peso Promedio de la cápsula	1er. peso con muestra	2do. Peso con muestra	mL. de muestra	Ensaye No 1	Ensaye No 2	Ensaye No 3	Promedio Sólidos Totales	Promedio Sólidos Totales Volátiles	Promedio Sólidos Totales Fijos
INF.	52.6966	52.7203	52.7156	20	1185.0			1212.5	225	987.5
INF.	52.0985	52.1233	52.1119	20			1240.0			
EF.	45.0002	45.0269	45.0226	20	1337.1			1237.4	233.33	1004.1
EF.	52.5752	52.5988	52.5934	20		1180.0				
EF.	44.8611	44.8850	44.8807	20			1195.0			
INF.	52.0528	52.0714	52.0690	20	930.0			932.5	140	792.5
INF.	44.3665	44.3851	44.3818	20		930.0				
INF.	51.3551	51.3738	51.3711	20			937.5			
EF.	46.5842	46.6018	46.6009	20	880			746.7	45	701.7
EF.	44.5103	44.5221	44.5290	20		590				
EF.	49.7498	49.7652	49.7657	20			770			
INF.	47.4438	47.4687	47.4687	20		1247.5		1270	170	1100
INF.	53.1878	53.2136	53.2102	20			1292.5			
EF.	44.7647	44.7865	44.7849	20	1090.0			1086.7	52	1034.7
EF.	52.5826	52.6039	52.6038	20		1065.0				
EF.	45.3539	45.3759	45.3752	20			1102.5			
INF.	45.1930	45.2199	45.2188	20	1347.5			1295	63	1232
INF.	44.1062	44.1330	44.1316	20		1342.5				
EF.	47.4464	47.4789	47.4699	20	1626.7			1586.1	405	1181.1
EF.	52.0536	52.0857	52.0778	20		1603.3				
EF.	51.3567	51.3873	51.3799	20			1528.3			
LODOS	45.1939	45.2648	45.2240	20	3546.7			3495	2003	1492
LODOS	52.5837	52.6522	52.6136	20		3425.0				
LODOS	45.0061	45.0764	45.0356	20			3513.3			



## 5.7 DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

1. Medir con una probeta, un volumen adecuado de la cantidad seleccionada de muestra previamente homogeneizada la cual depende de la concentración esperada de sólidos suspendidos.
2. Filtrar la muestra a través del crisol Gooch preparado anteriormente aplicando vacío, lavar el disco tres veces con 10 mL de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado.
3. Suspender el vacío y secar el crisol en la estufa a una temperatura de 103 a 105 °C durante 1 h aproximadamente. Sacar el crisol, dejar enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante y registrarlo.
4. Introducir el crisol que contiene el residuo y el disco a la mufla, a una temperatura de 550 °C  $\pm$  50°C, durante 15 minutos. Sacar el crisol, de la mufla e introducirlo en la estufa a una temperatura de 103 a 105 °C durante 20 minutos aproximadamente. Sacar y enfriar a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante.

Los resultados se expresan en mg/L. El peso de la cápsula después de la evaporación de la muestra (4) menos el peso de la cápsula vacía (2), (NMX-AA-034-SCFI-2001).

$$(P1 - P.del,crisol) * \frac{1,000000}{mL.de.muestra} = \text{ppm de sólidos totales}$$

Ejemplo

$$(21.5517 - 21.5498) * \frac{1000000}{26} = 73.1 \text{ ppm}$$

**Tabla 5.5 Resultados obtenidos del análisis de agua tratada. Determinación de sólidos y sales disueltas**

(Análisis realizados en el Laboratorio de la Planta San Juan de Aragón)

Muestra	Peso Prom. del Crisol	1er Peso con muestra	2do. Peso con muestra	mL de muestra	Promedio Sólidos Suspendedos Totales	Promedio Sólidos Suspendedos Volátiles	Promedio Sólidos Suspendedos Fijos
INF.	21.5498	21.5517	21.5501	26	73.1	61.54	11.54
S.P.	21.3002	21.3011	21.3004	26	34.62	26.9	7.7
EF.	21.7278	21.7282	21.7279	225	1.78	1.33	0.45
REC.	21.7965	21.8114	21.8010	5	2980	2080	900
INF.	27.3355	27.3372	27.3358	25	68	56	12
S.P.	22.3796	22.3810	22.3798	25	56	48	8
EF.	19.2478	19.2483	19.2478	50	10	10	0
REC.	22.8041	22.8170	22.8062	5	2580	2160	420
INF.	27.3339	27.3348	27.3342	25	36	24	12
S.P.	22.3788	22.3797	22.3794	25	36	12	24
EF.	19.2468	19.2470	19.2468	50	4	4	0
REC.	22.4054	22.4177	22.4092	5	2460	1700	760
INF.	21.4274	21.4289	21.4277	20	75	60	15
S.P.	22.3790	22.3804	22.3792	25	56	48	8
EF.	21.7738	21.7757	21.7739	160	11.9	11.3	0.6
REC.	21.7946	21.8120	21.7988	5	3480	2640	840

Donde:

INF. = influente

SP. = sedimentador primario

EF. = efluente

REC. = recirculación



### 5.8 DETERMINACIÓN DE SALES DISUELTAS TOTALES (SDT)

La determinación de las sales disueltas totales es por diferencia entre los sólidos totales menos sólidos suspendidos totales.

Sólidos disueltos totales	Sólidos disueltos volátiles	Sólidos disueltos fijos
<b>INFLUENTE</b>		
1139.4	163.6	975.8
864.5	84	780.5
1234	146	1098
1220	3	1217
<b>EFLUENTE</b>		
1202.7	206.4	996.3
690.7	3	687.7
1050.7	28	1022.7
1530.1	357	1173.1

**Tabla 5.6 Características del agua muestreada en la planta (influyente)**

PARAMETRO	UNIDAD	CONCENTRACION * CUANTIFICADA	REFERENCIA ** BIBLIOGRAFICA	CONCENTRACION *** EN LA PLANTA	MÉTODO DE ANÁLISIS NORMA OFICIAL
Temperatura	°C	22	40	20	NMX-AA-007-SCFI-2000
pH (unidades de pH)		8.23	5 - 10	7.63	NMX-AA-008-SCFI-2000
Sólidos Totales	mg/L	1177.5	720	1533.28	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales Volátiles	mg/L	160.5	-	386.50	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales Fijos	mg/L	1017	-	1146.78	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	63	220	215.83	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	50.4	165	151.36	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/L	12.6	55	64.47	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1114.5	500	1317.44	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Volátiles	mg/L	147.9	200	235.14	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos fijos	mg/L	966.6	300	1082.31	NMX-AA-034-SCFI-2001

\* Resultados obtenidos en el laboratorio de Ingeniería Ambiental en C. U.

\*\* Datos que se reviso en la Literatura

\*\*\* Datos proporcionados en la Planta de Tratamiento San Juan de Aragón



Comparando los resultados del influente, obtenidos en el laboratorio. Los datos proporcionados en la planta de tratamiento, se encuentran fuera del rango a lo que se está manejando en la bibliografía revisada, esto quiere decir que el agua que entra a la planta entra con un alto contenido de materia orgánica no cuantificada, esto se debe que el agua que llega, está contaminada por las descargas domiciliarias y de nixtamaleras que existen en la periferia de la planta.

Esto afecta y entorpece la calidad del influente que entra en la planta, ya que la planta carece de infraestructura para poder retener el exceso de basura que no alcanzan a retener las rejillas. Para obtener un influente adecuado se requiere implementar funciones tales que puedan disminuir el exceso de sólidos de gran magnitud.

La función de proponer un desarenador, es de separar a los sólidos inorgánicos, tales como arenas gravas y objetos metálicos, entre otros, aprovechando el efecto de la gravedad sobre los cuerpos pesados, los cuales tienden a depositar cuando el agua fluye a velocidades muy lentas.

Otra función que ayudaría a resolver este tipo de problema es el cribado que consiste en la separación de grandes sólidos inorgánicos u orgánicos que flotan o están suspendidos, tales como trozos de madera, vidrio, tela, papel, plástico, semillas de frutas o en general basura que va a deteriorar el proceso u obstrucción de tuberías y daños a las bombas.

Este tipo de problemas se ve reflejado en las figuras mostradas anteriormente en el tanque de sedimentación primario. Implementando estas acciones se obtendrá un influente de mejor calidad sin mucha basura, también de esta forma puede fluir el caudal sin ningún problema y se puede obtener mejores resultados en los parámetros que se lleven a cabo.



**Tabla 5.7 Resultados obtenidos del agua tratada (efluente)**

PARAMETRO	UNIDAD	CONCENTRACIÓN * CUANTIFICADA	CONCENTRACIÓN ** EN LA PLANTA	MÉTODO DE ANÁLISIS NORMA OFICIAL
Temperatura	°C	22	20	NMX-AA-007-SCFI-2000
pH (unidades de pH)		8.46	7.83	NMX-AA-008-SCFI-2000
Sólidos Totales	mg/L	1164.2	1224.89	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales Volátiles	mg/L	183.8	181.367	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales Fijos	mg/L	980.4	1043.22	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	6.92	4.06	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	6.65	4.06	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/L	0.26	4	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1118.6	1224.39	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Volátiles	mg/L	148.6	181.17	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos fijos	mg/L	970	1043.22	NMX-AA-034-SCFI-2001

\* Resultados obtenidos en el laboratorio de Ingeniería Ambiental en C. U.

\*\* Datos proporcionados en la Planta de Tratamiento San Juan de Aragón





Los resultados obtenidos en el laboratorio y los datos proporcionados en la planta, son similares. Esto quiere decir que la planta trabaja en buen estado de tratamiento ya que estos resultados no se pueden comparar con referencias bibliográficas o algún otro documento en donde avale los parámetros con los que debe de trabajar una planta en buen estado.

En la NOM-003-SEMARNAT-1997 se muestran los Sólidos suspendidos totales con los límites permitidos con los que deben de cumplir el agua tratada, Contacto Directo =20mg/L, aquellos en donde la gente puede entrar en contacto físico con el agua, por ejemplo en lagos recreativo y lagos con lanchas. Contacto Indirecto =30mg/L, el reúso en servicios al público por ejemplo, para riego de jardines, camellones y en sistemas contra incendios entre otros.

Pero en realidad con los otros parámetros que se realizaron no hay una base en la literatura donde se fundamente que cumplen con ello, pero con los resultados obtenidos se comprobó que son similares a los que se manejan en la planta de tratamiento, con respecto a los parámetros determinados se refleja que sí cumple lo establecido de la norma, de esta forma se comprueba que el agua que se trata en la planta de San Juan de Aragón, entrega un efluente de buena calidad con la que establece la NOM-003-SEMARNAT-1997, y que cumple con los límites establecidos por la autoridad competente un efluente que se le pueda dar uso en lagos, riego en camellones, jardines, industrias etc. esto es con respecto al tratamiento que se le da al agua.

Con relación a la deficiencia de la planta en cuanto a infraestructura, el desgaste del cemento en los muros, el desnivel de las rastras e hundimiento en los tanques sedimentadores. La mayor parte de los sistemas de tratamiento, no cumplen con su propósito de remover cargas orgánicas, esto se debe a que la planta ya tiene operando más de 40 años y no se le ha proporcionado ningún mantenimiento. Es necesario darle mantenimiento a los tanques ya que al paso de los años se han ido hundiendo.

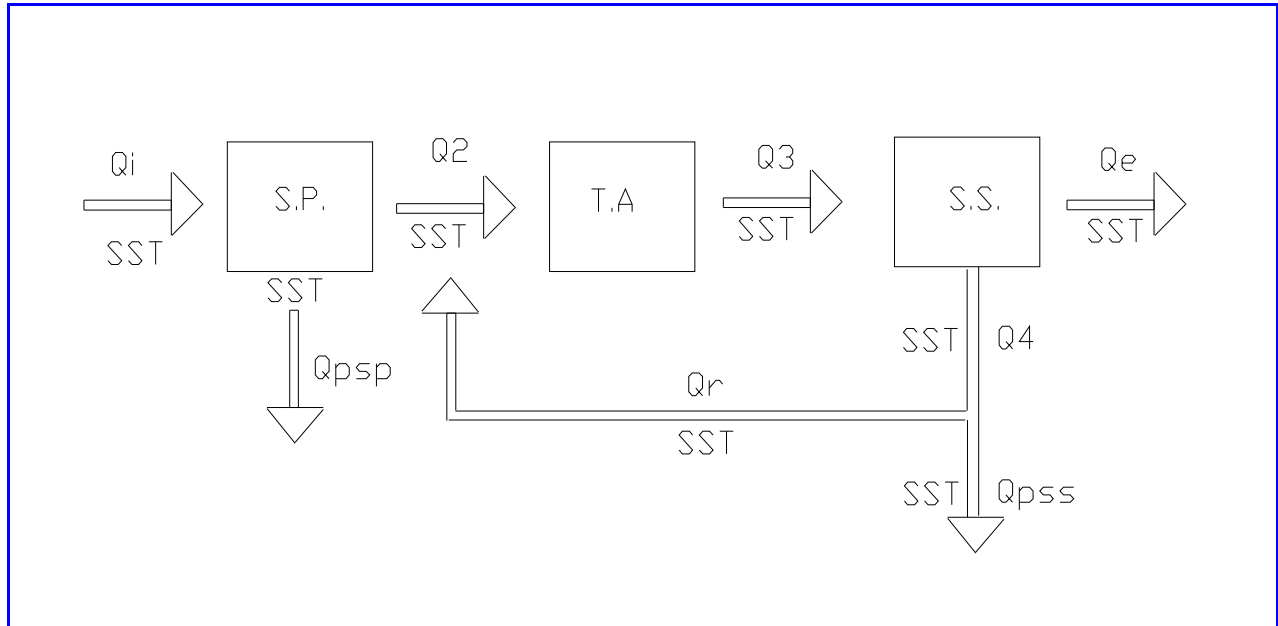
El hundimiento que se ve reflejado en la rastras que ya no trabajan como debiera ser, para salir de este problema los operadores que trabajan en la planta tienen que estar limpiándolos por el exceso de lodos que ya no alcanza a remover la rastra, para hacer esta limpieza de los sedimentadores tiene que dejar de funcionar y parar un sedimentador para que lo puedan limpiar y de esta manera no entorpecer el trabajo del tratamiento en la planta.



**Tabla 5.8 Comparativo de Calidad de Agua Tratada  
(Muestras tomadas en la planta)**

Análisis	Agua Residual	Agua Tratada	Eficiencia
pH	8.23	8.46	2.3 %
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	63	6.92	89 %
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	50.4	6.65	87 %
Sólidos suspendidos fijos(mg/L)	12.6	0.25	98 %

## 5.9 BALANCE DE MATERIA



**Figura 5.1 Diagrama de flujo**

Donde:

$Q_i$ : Gasto de entrada (influyente)

$Q_e$ : Gasto de salida (efluente)

$Q_{PSP}$ : Gasto de purga en el sedimentador primario

$Q_{PSS}$ : Gasto de purga en el sedimentador secundario

$Q_2$ : Gasto de salida (sedimentador primario)

$Q_3$ : Gasto de salida (tanque de aireación)

$Q_2$ : Gasto de entrada (tanque de aireación)

$Q_R$ : Gasto de recirculación

$Q_4$ : Gasto de exceso de lodos

S.P.: Sedimentador Primario

T.A.: Tanque de Aireación

S.S.: Sedimentador Secundario

S.S.T.: Sólidos Suspendidos Totales



Cualquier balance parte del principio de todo lo que entra a un sistema, sale, se acumula o se transforma (Ley de Conservación de la Materia).

$$Q_i = Q_e + Q_{PSP} + Q_{PSS} \quad (5.1)$$

Donde:

$Q_i$ : Gasto de entrada (influyente)

$Q_e$ : Gasto de salida (efluente)

$Q_{PSP}$ : Gasto de purga en el sedimentador primario

$Q_{PSS}$ : Gasto de purga en el sedimentador secundario

Este mismo balance puede aplicarse para cada sección de la Fig. 5.1, definiendo la ecuación (5.2) para el tanque sedimentador primario.

$$Q_i = Q_2 + Q_{PSP} \quad (5.2)$$

Donde:

$Q_i$ : Gasto de entrada (influyente)

$Q_2$ : Gasto de salida (sedimentador primario)

$Q_{PSP}$ : Gasto de purga en el sedimentador primario

La ecuación (5.3), está dada para determinar el gasto de salida del tanque de aireación y es:

$$Q_3 = Q_2 + Q_R \quad (5.3)$$

Donde:

$Q_3$ : Gasto de salida (tanque de aireación)

$Q_2$ : Gasto de entrada (tanque de aireación)

$Q_R$ : Gasto de recirculación



La ecuación (5.4) para la tasa de recirculación está dada por:

$$Q_4 = Q_{PSS} + Q_R \quad (5.4)$$

Donde:

$Q_4$ : Gasto de exceso de lodos

$Q_{PSS}$ : Gasto de purga (sedimentador secundario)

$Q_R$ : Gasto de recirculación

La ecuación (5.5) para el tanque de sedimentación secundario es:

$$Q_3 = Q_e + Q_4 \quad (5.5)$$

Donde

$Q_3$ : Gasto de entrada (sedimentador secundario)

$Q_e$ : Gasto de salida (efluente)

$Q_4$ : Gasto de recirculación + Gasto de purga

Partiendo de las ecuaciones ahora se procede a obtener los valores para los gastos, con sus respectivas unidades

$$Q_i - Q_e - Q_{PSP} - Q_{PSS} = 0 \dots\dots\dots(5.1)$$

$$Q_i - Q_2 - Q_{PSP} = 0 \dots\dots\dots(5.2)$$

$$Q_2 - Q_3 + Q_R = 0 \dots\dots\dots(5.3)$$

$$Q_{PSS} - Q_4 + Q_R = 0 \dots\dots\dots(5.4)$$

$$Q_3 - Q_e - Q_4 = 0 \dots\dots\dots(5.5)$$



Para resolver este sistema de ecuaciones, se deben conocer los siguientes datos:

- Volumen de agua tratada = 21, 600,000 L/d
- Volumen de desechos durante todas las etapas = 700,000 L/d
- Volumen de agua residual tratada para ser reusada = 20, 900,000 L/d
- Tasa de recirculación = 540, 000 L/d
- Volumen de purga en el sedimentador primario = 25000 L/d

(Datos proporcionados en la planta de tratamiento de San Juan de Aragón).

Para ser más eficientes en las operaciones se procede a convertir las unidades de tal manera se puedan manejar en las ecuaciones.

$$21,600,000 \text{ L/día} \Rightarrow \frac{1\text{día}}{86400\text{s}} = 250\text{L/s}$$

$$\underline{Q_j = 250 \text{ L/s}}$$

$$20,900,000 \text{ L/día} \Rightarrow \frac{1\text{día}}{86400\text{s}} = 241\text{L/s}$$

$$\underline{Q_e = 241.9 \text{ L/s}}$$

$$700,000 \text{ L/día} \Rightarrow \frac{1\text{día}}{86400\text{s}} = 8.1\text{L/s}$$

$$\underline{Q_{\text{desecho}} = 8.1 \text{ L/s}}$$

$$540,000 \text{ L/día} \Rightarrow \frac{1\text{día}}{86400\text{s}} = 6.25\text{L/s}$$

$$\underline{Q_R = 6.25 \text{ L/s}}$$

$$25,000 \text{ L/día} \Rightarrow \frac{1\text{día}}{86400\text{s}} = 0.29\text{L/s}$$

$$\underline{Q_{\text{PSP}} = 0.29\text{L/s}}$$

Dadas las conversiones se procede a realizar las ecuaciones, primero se debe de analizar, cuales son las que se pueden resolver, con los datos recopilados.





Partiendo con la ecuación (5.2) se conoce  $Q_i$  y  $Q_{PSP}$  por lo tanto se puede conocer  $Q_2$  es:

$$Q_i = 250 \text{ L/s}$$

$$Q_{PSP} = 0.29 \text{ L/s}$$

$$Q_i = Q_2 + Q_{PSP} \quad (5.2)$$

Despejando de la ec. (5.2) a  $Q_2$ :

$$Q_2 = Q_i - Q_{PSP}$$

$$Q_2 = 250 - 0.29$$

$$\underline{Q_2 = 249.71 \text{ L/s}}$$

De la ecuación (5.3) se conocen los  $Q_2$  y  $Q_R$  se procede a calcular  $Q_3$ .

$$Q_2 = 249.71 \text{ L/s}$$

$$Q_R = 6.25 \text{ L/s}$$

$$Q_3 = Q_2 + Q_R \quad (5.3)$$

Sustituyendo los valores la ecuación original se obtiene a  $Q_3$ .

$$Q_3 = Q_2 + Q_R$$

$$Q_3 = 249.71 \text{ L/s} + 6.25 \text{ L/s}$$

$$\underline{Q_3 = 255.96 \text{ L/s}}$$



De la ecuación (5.5) se obtiene  $Q_e$  considerando los gastos obtenidos de las ecuaciones anteriores.

$$Q_3 = 255.96 \text{ L/s}$$

$$Q_e = 241.9 \text{ L/s}$$

$$Q_3 = Q_e + Q_4 \quad (5.5)$$

De la ecuación (5.5), despejando a  $Q_e$  es:

$$Q_4 = Q_3 - Q_e$$

$$Q_4 = 255.96 \text{ L/s} - 241.9 \text{ L/s}$$

$$\underline{Q_4 = 14.06 \text{ L/s}}$$

De la ecuación (5.4) se obtiene  $Q_4$ :

$$Q_4 = Q_{PSS} + Q_R \quad (5.4)$$

$$Q_{PSS} = Q_4 - Q_R$$

$$Q_{PSS} = 14.06 \text{ L/s} - 6.25 \text{ L/s}$$

$$\underline{Q_{PSS} = 7.81 \text{ L/s}}$$



Partiendo de la ecuación general, se procede a sustituir los valores gastos obtenidos.

$$Q_i = Q_e + Q_{PSP} + Q_{PSS} \quad (5.1)$$

$$250 = 241.9 + 0.29 + 7.81$$

**250 L/s = 250 L/s**

El balance se realizará con base en los gastos obtenidos en el punto anterior, el sistema mostrado en la figura 5.1 y los resultados de los **sólidos suspendidos totales**, que se obtuvieron en el análisis del agua de la planta tratadora, con sus respectivas unidades según la ecuación (5.1) y las siguientes ecuaciones generales de todo el sistema.

**Tabla 5.9 Promedio de sólidos suspendidos totales**

Nombre	Promedio sólidos suspendidos totales en mg/L
Influente	63
Sedimentador Primario	45.7
Efluente	6.92
Recirculación	2875

Para obtener los valores y resultados de las ecuaciones, se procede a revisar los datos obtenidos anteriormente para encontrar las incógnitas de las ecuaciones y obtener resultados instantáneos.



$$\begin{aligned}
 1. \quad Q_i &= Q_e + Q_{PSP} + Q_{PSS} \\
 \Rightarrow Q_i SST_i &= Q_e SST_e + Q_{PSP} \chi_1 + Q_{PSS} SST_{REC}
 \end{aligned} \tag{5.6}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad Q_i &= Q_2 + Q_{PSP} \\
 \Rightarrow Q_i SST_i &= Q_2 \chi_2 + Q_{PSP} \chi_1
 \end{aligned} \tag{5.7}$$

$$\begin{aligned}
 3. \quad Q_3 &= Q_2 + Q_R \\
 \Rightarrow Q_3 \chi_3 &= Q_2 \chi_2 + Q_R SST_R
 \end{aligned} \tag{5.8}$$

$$\begin{aligned}
 4. \quad Q_4 &= Q_{PSP} + Q_R \\
 \Rightarrow Q_4 \chi_4 &= Q_{PSP} \chi_2 + Q_R SST_R
 \end{aligned} \tag{5.9}$$

$$\begin{aligned}
 5. \quad Q_3 &= Q_e + Q_4 \\
 \Rightarrow Q_3 \chi_3 &= Q_e SST_e + Q_4 SST_{REC}
 \end{aligned} \tag{5.10}$$

Donde:

$SST_i$  = Sólidos Suspendidos Totales en el Influyente

$SST_e$  = Sólidos Suspendidos Totales en el Efluente

$SST_{PSP}$  ó  $X_1$  = Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador primario

$SST_{PSS}$  ó  $X_2$  = Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador secundario

$SST_R$  = Sólidos Suspendidos Totales en la recirculación

$SST_{T.A.}$  ó  $X_3$  = Sólidos Suspendidos Totales tanque de aireación



Los valores de los gastos se obtuvieron anteriormente.

- Partiendo de la ecuación (5.7) para obtener el primer resultado de la incógnita se tiene:

$$\begin{aligned} Q_i &= Q_2 + Q_{PSP} \\ \Rightarrow Q_i SST_i &= Q_2 SST_2 + Q_{PSP} \chi_1 \end{aligned} \quad (5.7)$$

$$\chi_1 = \frac{(Q_i * SST_i) - (Q_2 * SST_2)}{Q_{PSP}}$$

$$\chi_1 = \frac{(250L/s * 63mg/L) - (249.71L/s * 45.7mg/L)}{0.29L/s}$$

$$\chi_1 = 14959.5mg/s$$

$$\underline{\underline{X_1 = 1292.5 kg/d}}$$

- Conociendo  $X_1$  se procede a calcular a  $X_2$  en la ecuación (5.6).

$$\begin{aligned} Q_i &= Q_e + Q_{PSP} + Q_{PSS} \\ \Rightarrow Q_i SST_i &= Q_e SST_e + Q_{PSP} \chi_1 + Q_{PSS} \chi_2 \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\chi_2 = \frac{(Q_i * SST_i) - (Q_e * SST_e) - (Q_{PSP} \chi_1)}{Q_{PSS}}$$

$$\chi_2 = \frac{(250L/s * 63mg/L) - (241.91L/s * 6.92mg/L) - (0.29L/s * 14959.5L/s)}{7.81L/s}$$

$$\chi_2 = 1246.8mg/s$$

$$\underline{\underline{X_2 = 107.7 kg/d}}$$



➤ Conociendo  $X_1$  y  $SST_R$  de la ecuación (5.8) se calcula  $X_3$ .

$$\begin{aligned} Q_3 &= Q_2 + Q_R \\ \Rightarrow Q_3 \chi_3 &= Q_2 SST_2 + Q_R SST_R \end{aligned} \quad (5.8)$$

$$\chi_3 = \frac{(Q_2 * SST_2) + (Q_R * SST_R)}{Q_3}$$

$$\chi_3 = \frac{(249.71L/s * 45.7mg/L) + (6.25L/s * 2875mg/L)}{255.96L/s}$$

$$\chi_3 = 114.8mg/s$$

$$\underline{\underline{X_3 = 9.9 \text{ kg/d}}}$$

➤ Obtener  $X_4$  de la ecuación (5.9).

$$\begin{aligned} Q_4 &= Q_{PSP} + Q_R \\ \Rightarrow Q_4 \chi_4 &= Q_{PSS} \chi_2 + Q_R SST_R \end{aligned} \quad (5.9)$$

$$\chi_4 = \frac{(Q_{PSS} * \chi_2) + (Q_R * SST_R)}{Q_4}$$

$$\chi_4 = \frac{(7.81L/s * 1246.8mg/L) + (6.25L/s * 2875mg/L)}{14.06L/s}$$

$$\chi_4 = 1970.6mg/s$$

$$\underline{\underline{X_4 = 170.3 \text{ kg/d}}}$$





Conociendo todos los resultados que eran incógnitas se proceden a evaluar los datos en la ecuación general de balance masa para comprobar los resultados.

➤ Ecuación general de todo el proceso Balance de Materia

$$Q_i = Q_e + Q_{PSP} + Q_{PSS}$$

$$\Rightarrow Q_i SST_i = Q_e SST_e + Q_{PSP} \chi_1 + Q_{PSS} SST_R$$

$$(250L/s * 63mg/L) = (241.9L/s * 6.92mg/L) + (0.29L/s * 14959.5mg/L) + (7.81L/s * 1246.8mg/L)$$

$$15750mg/s = 15749.7mg/s$$

$$\underline{\underline{1360.8 \text{ kg / día} = 1360.8 \text{ kg / d}}}$$

❖ Ecuación para el sedimentador primario

$$Q_i = Q_2 + Q_{PSP}$$

$$\Rightarrow Q_i SST_i = Q_2 SST_2 + Q_{PSP} \chi_1$$

$$(250L/s * 63mg/L) = (249.71L/s * 45.7mg/L) + (0.29L/s * 14959.5mg/L)$$

$$15750mg/s = 15750mg/s$$

$$\underline{\underline{1360.8 \text{ kg / día} = 1360.8 \text{ kg / d}}}$$

❖ Ecuación para el tanque de aireación

$$Q_3 = Q_2 + Q_R$$

$$\Rightarrow Q_3 \chi_3 = Q_2 \chi_2 + Q_R SST_R$$

$$(255.96L/s * 114.8mg/L) = (249.71L/s * 45.7mg/L) + (6.25L/s * 2875mg/L)$$

$$29384.2mg/s = 29380.5mg/s$$

$$\underline{\underline{2538.8 \text{ kg / día} = 2538.5 \text{ kg / d}}}$$



❖ Ecuación para la purga de lodos

$$Q_4 = Q_{PSP} + Q_R$$

$$\Rightarrow Q_4 \chi_4 = Q_{PSS} \chi_2 + Q_R SST_R$$

$$(14.06L/s * 1970.6mg/L) = (7.81L/s * 1246.8mg/L) + (6.25L/s * 2875mg/L)$$

$$27706.6mg/s = 27706.3mg/s$$

$$\underline{\underline{2393.9 \text{ kg / día} = 2393.8 \text{ kg / d}}}$$

❖ Ecuación tanque de aireación

$$Q_3 = Q_e + Q_4$$

$$\Rightarrow Q_3 \chi_3 = Q_e SST_e + Q_4 \chi_4$$

$$(255.96L/s * 114.8mg/L) = (241.9L/s * 6.92) + (14.06L/s * 1970.6mg/L)$$

$$29384.2mg/s = 29380.6mg/s$$

$$\underline{\underline{2538.8 \text{ kg / día} = 2538.5 \text{ kg / d}}}$$



## 5.10 EVALUACIÓN BALANCE DE MATERIA

### Sedimentador primario

Con los gastos obtenidos, los sólidos suspendidos totales y el diagrama de flujo mostrado en la figura 5.1, se procede a evaluar los resultados en la ecuación de balance de materia para el sedimentador primario. De esta evaluación se obtiene una eficiencia de remoción adecuada que es de 50% a 60% y de acuerdo a la literatura, esto indica que el sedimentador primario está trabajando en condiciones normales y esto se debe que depende de la carga superficial y la remoción media de los sólidos suspendidos.

### Sedimentador secundario

La biomasa generada en el tratamiento secundario constituye una carga orgánica significativa que es necesario remover para que el efluente pueda ajustarse a las normas mexicanas. Debido a las características de los sólidos.

El objetivo del sedimentador secundario es producir un efluente suficientemente clarificado, ya que los parámetros para evaluar la calidad final del agua tratada, se evalúan midiendo la calidad del efluente secundario, en particular, los sólidos suspendidos totales y materia orgánica y se demuestra con los resultados obtenidos del muestreo del agua. Por lo tanto, este análisis lleva a la conclusión que la planta esta operando con un 90% de eficiencia en cuanto a su proceso de tratamiento.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES

El balance de materia, se llevo a cabo correctamente en todo el proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Aragón esto se debe a que los datos recabados con el operador de la planta y los parámetros que se determinaron en el laboratorio, hubo una concordancia aceptable para realizar el balance de materia y dar seguimiento nuestros objetivos que se cumplieran, lo cual era la finalidad de este trabajo presente.

Este análisis se hizo con la finalidad de encontrar alguna inconsistencia en los resultados que manejan en la planta de tratamiento, de tal forma que de acuerdo a las mediciones reales que se hicieron y después de realizar los cálculos para llevar a cabo el balance de masa, se comprobó que la planta esta operando en condiciones normales, ya que el efluente que se obtiene, tiene la calidad suficiente para el reúso que se le da y cumple con la norma especifica NOM-003-SEMARNAT-1997. Tomando en cuenta que los servicios al público son: para lagos recreativos, lagos con lanchas, riego de jardines, camellones, lavado de autoservicio, reutilización en las industrias y los sistemas contra incendio, entre otros.

Considerando las referencias y las normas técnicas de *CONAGUA*, en este trabajo se revisaron distintos métodos que tiene una planta de tratamiento para poder desarrollar y llevar a cabo el funcionamiento y la estructura de que está compuesta una planta, con el propósito de comprender y comprobar en el campo, la eficiencia y la eficacia con que trabaja dicha planta de tratamiento.

Los análisis realizados en el laboratorio se hicieron conforme a lo establecido en la norma NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, para obtener mejores resultados en aplicaciones reales, el estudio de los parámetros son obtenidos a través de los análisis del agua residual de la planta de San Juan de Aragón. Los resultados que se obtuvieron indican que cumplen con los parámetros de la norma, NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. un efluente que se le pueda dar uso agrícola (para productos que se consumen crudos, cocidos ó procesados),



En la industria (para enfriamientos, procesos, servicios), municipal (riego de áreas verdes, limpieza de calles e hidratantes), recarga de acuíferos (infiltración superficial, inyección directa), lavado de automóviles o dispositivos contraincendios.

La evaluación que se hizo con la eficiencia de remoción de Sólidos suspendidos totales, fue para determinar el porcentaje de remoción con el que está trabajando cada tanque en la planta, con los resultados obtenidos puede decirse que se tiene una eficiencia de remoción del **90 %**, en cuanto a partículas en suspensión, esto trae como consecuencia que con los resultados obtenidos y revisados con base en la literatura son similares, por lo tanto, se demuestra que la planta entrega un efluente de buena calidad.



## REFERENCIAS

1. CNA, (1994) “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento”. Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas.
2. CNA, (1999) “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento”. Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas.
3. CNA, (2000) “Guía para el control de descargas a los sistemas de alcantarillado Urbano o Municipal” Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas.
4. Helleboe, H. (1983) “Manual de tratamiento de aguas negras”. Departamento de sanidad de Nueva York. Dirección de saneamiento del medio ambiente y oficina de entrenamiento Profesional. Ed. Limusa,
5. CONAGUA, (2006a) “Manual de Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” Nivel Básico Centro Mexicano de Capacitación en Agua y Saneamiento, A.C.
6. CONAGUA, (2006b) “Manual de Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” Nivel Intermedio Centro Mexicano de Capacitación en Agua y Saneamiento, A.C.
7. CONAGUA, (2006c) Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana.
8. Cuarto Foro Internacional del Agua (2006). [www.pvem.org.mx/conclus\\_mesatrabajo\\_infor](http://www.pvem.org.mx/conclus_mesatrabajo_infor)
9. Falcón C. (1980) “Manual Tratamiento de Aguas Negras”. Editorial Limusa México.
10. Jiménez C. (1994) “Proyecto de Tratamiento de Aguas Residuales por Procesos Biológicos” Tesis Profesional FES Aragón.
11. DGCOH, (1986) “Manual de Operación Planta para Tratamiento de Aguas Residuales” San Juan de Aragón. Secretaria de Obras y Servicios.





12. Ramalho R. S. (1996) "Tratamiento de Aguas residuales". Editorial Reverte S.A. México.
  
13. NMX-AA-034-SCFI-**2001**. Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a las NMX-AA-020-1980 Y NMX-AA-034-1981)
  
14. NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal
  
15. NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.