



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA
CENTENARIO**

TESIS

Para obtener el grado de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA

EMMANUEL QUEVEDO ROMERO

DIRECTOR

DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ

ASESORES

**Q.F.B. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO
M.C. JOSÉ MARTÍN RIVERO RODRÍGUEZ
DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS
ING. JUAN DIEGO CUEVAS DOMÍNGUEZ**





UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Trabajo de tesis bajo la supervisión del comité del programa de licenciatura y aprobada como requisito para obtener el grado de:

INGENIERO AMBIENTAL



DIRECTOR:

Comité de Tesis




DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ

SUPERVISOR:


Q.F.B. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO

SUPERVISOR:


M.C. JOSÉ MARTÍN RIVERO RODRÍGUEZ

CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2014.

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis realizado con mucha perseverancia, te lo dedico primeramente a ti mi querido Dios por permitirme culminar ésta etapa tan importante. Va dedicado con todo mi amor y admiración a mis dos pilares, seres que jamás me han dejado solo, a mi madre Martha Elena Romero López, que gracias a su amor y su apoyo, he logrado culminar uno de mis más anhelados objetivos. A mi hermano, que ha sido mi figura paterna a lo largo de todos estos años, Fernando Arturo Quevedo Romero, que gracias a sus consejos y enseñanzas he logrado con mucho éxito esta gran etapa de mi vida. También dedico éste gran logro a mi hermosa sobrina Kenya Mailen Quevedo Lima que ha llenado de mucha alegría mi vida con su llegada y al admirable M.C. José Martín Rivero Rodríguez por su conocimiento impartido en clases y por hacerme ver la vida de otra forma con sus pláticas interesantes que dejaron enseñanzas.

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero darte las gracias a ti mi amado Dios por darme la oportunidad de ser un profesionista. Gracias a mis dos pilares por el gran apoyo que me han brindado a lo largo de todos estos años tan difíciles, los amo con toda el alma, ¡LO LOGRAMOS! Gracias a mi querido director de tesis y gran amigo, Dr. José Manuel Carrión Jiménez, que sin él no hubiera sido posible éste gran objetivo, al Ing. Juan Diego Cuevas Domínguez, por pertenecer a mi honorable comité de tesis, al Ing. Ricardo Alfonso Sánchez Rivera, por otorgar las facilidades para efectuar los muestreos en la Planta y a todos los trabajadores que me facilitaron el trabajo en la toma de muestras tanto en la Planta Centenario como en la Planta FOVISSSTE V etapa. A todos mis queridos maestros, que no sólo me impartieron clases, sino también enseñanzas de vida y gratos consejos que llevo conmigo con mucho cariño: M.C. José Martín Rivero Rodríguez, Dr. Víctor Hugo Delgado Blas, Q.F.B. José Luis González Bucio, M.I.A. Juan Carlos Ávila Reveles, I.Q. José Luis Guevara Franco, Biol. Laura Patricia Flores Castillo, Dr. José Alfonso Canché Uuh, M.P. María Angélica González Vera, al Dr. César Cristóbal Escalante, que fue mi apreciable tutor durante este magnífico recorrido en la UQROO a lo largo de estos cinco años, a todos los profesores de la DCI, al CENEI, a mis fieles amigos por su gran amistad y gratos momentos de desestrés: Arturo Carrillo, Fernando Muñoz, Carlos Luna, Marcos Blanco, Martín Valdez, Alberto Maldonado, Héctor Chan, Félix Dziu, Farid Gamero, a toda la generación 2009: Ing. Ambiental (a todas las generaciones y a los de intercambio), Ing. Redes, ISE, Recursos Naturales, Lengua Inglesa, RI, etc. Gracias a mis amigos del servicio comunitario en Chan Cah Derrepente (una maravillosa experiencia), a la M.C. Lupita Cuellar Espadas por su apreciable apoyo y su gran amistad, ¡NO LOS OLVIDARÉ JAMÁS! Al personal del Dpto. de Calidad de Aire y Monitoreo Ambiental en la SEMA por el poco tiempo que estuve impartiendo mi servicio social. Gracias sobre todo a la Unidad de Aprovechamiento y Restauración de Recursos Naturales de la SEMARNAT por su apreciable amistad y por permitirme concluir mi servicio social con ustedes. Gracias a todos por hacer de éste recorrido una maravilla.

REFLEXIÓN

Hay situaciones en la vida que nos hacen quebrarnos a tal grado de ya no poder más. Hay otras circunstancias en donde hacemos daño a los que nos aman. También existen aquellas situaciones en donde enmendamos el camino y reflexionamos que el dolor, sólo es temporal. Pero lo más importante, sin importar en qué situación nos encontremos, siempre hay que seguir avanzando, hay que comprometerse por completo, hay que respirarlo, hay que comerlo, hay que soñarlo, y hasta que no lleguemos a tal punto, no prosperaremos. Con satisfacción puedo decir que no soy perfecto, que con mucho esfuerzo he rectificado cada acontecimiento y que gracias a ello he valorado cada logro. En fin, todo depende de creer en uno mismo, luchar por cada uno de los objetivos planteados, ya que cada día es un conflicto entre el camino fácil y el camino correcto, así que levántate y brilla, sin olvidar de dónde vienes, sin olvidar a tu gente.

Los límites están en uno mismo... Así que trabaja duro y conseguirás lo que quieras ¡SIN LÍMITES!

Emmanuel Quevedo Romero.

CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
REFLEXIÓN.....	III
CONTENIDO	IV
INTRODUCCIÓN	VI
OBJETIVO GENERAL	IX
OBJETIVOS PARTICULARES.....	IX
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO CENTENARIO.....	1
1.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL.	2
1.2.- PRETRATAMIENTO.	3
1.2.1.- <i>Cribado</i>	4
1.2.2.- <i>Desarenador</i>	4
1.2.3.- <i>Recirculación de Lodos</i>	5
1.3.- TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	5
1.3.1.- <i>Reactor Biológico</i>	5
1.3.2.- <i>Sedimentador Secundario o Clarificador</i>	5
1.4.- DESINFECCIÓN.	6
1.5.- TRATAMIENTO DE LODOS.	6
1.5.1.- <i>Digestor de Lodos</i>	6
1.5.2.- <i>Deshidratación de Lodos</i>	6
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.	8
2.1.- DETERMINACIONES ANALÍTICAS.....	9
2.2.- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL).....	9
2.3.- DETERMINACIÓN PARA EL DISEÑO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO.....	11
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	12
3.1.- PRETRATAMIENTO.	13
3.1.1.- <i>Diseño de un Sedimentador Primario</i>	18

3.2.- SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.	18
3.2.1.- <i>Problemas detectados en el Biorreactor.</i>	18
3.2.2.- <i>Problemas de Sedimentación.</i>	23
3.2.3.- <i>Control de Organismos Filamentosos.</i>	25
3.2.4.- <i>Selector de Lodos Activados.</i>	26
3.3.- SOPLADORES.	28
3.4.- TRATAMIENTO DE LODOS.	28
3.4.1.- <i>Digestor de lodos.</i>	28
3.4.2.- <i>Filtro prensa.</i>	29
3.5.- LABORATORIO.	29
3.6.- PROPUESTAS DE SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DETECTADOS.	30
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES.	31
ANEXO I: TABLAS.	X
ANEXO II: BITÁCORA DE LA PLANTA CENTENARIO.	XV
REFERENCIAS.	XVIII



INTRODUCCIÓN

Cuando el agua es desechada de una industria o de los hogares, contiene porciones importantes de contaminantes, que hasta hace algún tiempo eran descargadas en diferentes cuerpos de agua y aún existen descargas clandestinas sin un previo tratamiento, esto aumentando aún más el nivel de contaminación en las aguas y el riesgo de contraer enfermedades por el contacto directo con ellas. Por eso empresas sanitarias y municipios han asumido un compromiso con la naturaleza para tener un mejor futuro sin polución, implementando Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, las cuales se encargan de limpiar las aguas negras y devolverlas al medio ambiente libres de contaminación. Para evitar que las aguas contaminadas amenacen nuestra salud es necesario enviarlas a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, sitios que cuentan con biotecnología avanzada, que a través de diversos procesos logran dejar las aguas limpias.

TIPO DE AGUA	POR CIENTO DE LA CANTIDAD TOTAL	POR CIENTO DE LA CANTIDAD DE AGUA DULCE	POR CIENTO DE LA CANTIDAD DE AGUA DULCE LÍQUIDA
Salada (mares y océanos, agua subterránea y lagos)	97.3		
Dulce	2.7	100.00	
• hielo (glaciares)	2.08	77.20	
• líquida	0.62	22.80	100.00
• agua subterránea y humedad del suelo		22.40	98.25
• lagos y pantanos		0.35	1.54
• ríos y corrientes		0.01	0.04
• atmósfera		0.04	0.17

Fuente: Hernández Muñoz, 1990.

Fig. 1.- Reparto del agua sobre la Tierra.

Aproximadamente el 3% del agua en el mundo es dulce (Hernández Muñoz, 1990), por eso, es obligatorio que las aguas sucias tengan un tratamiento de purificación y por lo tanto es trascendental que las descargas de aguas residuales sean dirigidas a un cárcamo de almacenamiento o haya conexiones directas por medio de drenajes a estos sitios de purificación de aguas negras. En las Plantas de Tratamiento existen diversos procesos como, el Pretratamiento, en el cual se eliminan sólidos como: bolsas de plástico, alimentos, tapas y botellas de plástico, preservativos, etc., por

medio de filtros finos y gruesos que atrapan todos estos residuos; inmediatamente, el agua se dirige al Desarenador, en el cual por influencia de la gravedad, las arenas, gravas y materiales pesados se van sedimentando, dejando que el agua siga su curso. El material sedimentado es enviado a un confinamiento o al basurero municipal, algunas Plantas cuentan con un tratamiento para aceites y grasas, donde éstas son sometidas a un proceso de estabiización, así el agua es refinada un poco más.

El proceso más importante en la Planta de Tratamiento, es el Biorreactor, aquí las bacterias son necesarias para la transformación de la materia orgánica a CO_2 , H_2O , NH_4^+ y nueva biomasa; las bacterias viven por el oxígeno disuelto que es suministrado mediante el uso de difusores o aireadores de burbuja fina que mantienen el líquido en estado de mezcla completa. Con la ayuda de los aparatos antes mencionados, las bacterias pueden consumir grasas, aceites, detergentes, metales pesados, alimentos que ellas prefieren, en cualquier rincón del reactor por la influencia de la remoción. Para que este maravilloso proceso pueda alcanzar el 100% de su objetivo, es necesario que los microbios sean intercambiados, es decir, eliminar a los microorganismos viejos y jóvenes (que provocan la flotación de lodos ya que no consumen mucha materia orgánica y son incapaces de reproducirse), por microorganismos adultos, puesto que estos consumen más Materia Orgánica y se reproducen adecuadamente; el intercambio ocurre con la recirculación de lodos, que va desde el Sedimentador Secundario que es el siguiente paso, hasta el Pretratamiento, para formar el llamado licor mezclado.

En el Clarificador o Sedimentador Secundario, el agua entra en contacto con coagulantes para formar flóculos, lo cual es la aglomeración de partículas, para que no floten y se cumpla el objetivo de sedimentación de los lodos dentro del tanque. Se cuenta con una rastra o desnatador, la cual va recogiendo las natas o lodos flotantes y los envía al centro del tanque, ahí es donde los lodos sedimentados son enviados al Pretratamiento para cumplir con la realización del licor mezclado, o al Digestor de Lodos, para su respectivo tratamiento. El proceso inmediato se encarga de la adición de gas cloro (Cl_2), se envía las aguas a un tanque en forma de laberinto con el objetivo de que cierto tiempo de retención permita la sedimentación de partículas o eliminación de microorganismos y patógenos que se hayan fugado de algún proceso. Y es así como se obtiene agua clara, libre de contaminantes y patógenos que pudieran generar enfermedades.

Cuando los lodos sedimentan en el Clarificador, se mencionó anteriormente que eran enviados al Pretratamiento, pero también hay una conexión que lleva a los lodos viejos al Digestor, ahí los lodos son aireados, proceso similar al Biorreactor, el cual tiene un proceso de estabilización, con la diferencia de que aquí los microorganismos ya no tienen materia orgánica para consumir, así que se comen entre ellos, provocando su reducción. Posteriormente son sometidos a un proceso de deshidratación, y finalmente, antes de ser puestos a Disposición, son analizados por si presentan ciertas características corrosivas, reactivas, tóxicas y biológico infecciosas (CRTB).

Los lodos obtenidos, antes de ser devueltos al suelo, el cual ha sido destinado como relleno sanitario, sitio de confinamiento autorizado o de reforestación, son revueltos con tierra fértil del mismo o también se les puede practicar un proceso de compostaje antes de ser enviados a alguno de los sitios antes mencionados, esto tomado en cuenta de la NOM – 004 – SEMARNAT – 2002, para evitar un daño al medio ambiente por ciertas características (CRTB) antes mencionadas, ya que las lluvias favorecen su filtración al subsuelo o por percolación al manto freático, es decir, para poder amortiguar cierto daño y evitar olores desagradables debido a la reactivación con el agua de lluvia y la luz solar.

Con la implementación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, estamos garantizando la conservación de nuestros diferentes cuerpos de agua, sólo que lamentablemente estamos desgastando el planeta a un ritmo acelerado, puesto que al contaminar nuestros ecosistemas acuáticos estamos terminando con nuestro sustento de alimentación más importante, la fauna marina. Es necesario prestar mucha atención a todos los factores que alteran nuestro entorno marino, la solución no sólo está en las Plantas de Tratamiento, si no en la consciencia y cultura ambiental de cada uno de nosotros, haciendo respetar cada una de las leyes y normas implementadas por las autoridades ambientales y por los que luchan por la preservación ambiental, respetando los tiempos de veda establecidos y áreas naturales protegidas. Por lo tanto no sólo se tiene que buscar salvaguardar el agua del planeta, también es necesario cuidar la vida marina que existe en los mares, océanos, y en los diferentes cuerpos de agua.

OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar el proceso de Tratamiento de Aguas Residuales en la Planta Centenario.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Realizar el diagnóstico del proceso de Tratamiento del Agua Residual en la Planta.
- 2.- Diseñar un sedimentador primario.
- 3.- Realizar un diagnóstico del proceso de sedimentación mediante la medición del Índice Volumétrico de Lodos (IVL).
- 4.- Realizar una propuesta de solución a los problemas detectados.

Ingeniería
AMBIENTAL



**CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO
CENTENARIO.**

Ingeniería
AMBIENTAL

En el presente capítulo se describen cada una de las etapas que constituyen a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Centenario”, y la importancia que ésta implica en la disminución del impacto producido al medio ambiente por la contaminación generada al cuerpo receptor (sabana).

1.1.- Descripción General.



Fig. 1.1.- Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Centenario.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Centenario”, se encuentra ubicada al final de la calle Tenacidad, en la colonia Nuevo Progreso, al noroeste de la ciudad de Chetumal, capital del estado de Quintana Roo (Fig. 1.1). Sus operaciones iniciaron el 01 de marzo de 1999 y realiza un tratamiento biológico con un sistema aerobio del tipo de lodos activados con dos reactores de mezcla completa. Tiene la capacidad de recibir un caudal máximo de 120 L/s, el cual proviene de tres estaciones de bombeo operando de forma alterna, las cuales son: el cárcamo ocho, cárcamo final y el cárcamo del fraccionamiento Caribe.

El mayor aporte de aguas residuales que llega a la Planta es proveniente de la estación de bombeo “Cárcamo Final” ubicado en la Av. 4 de Marzo. La Planta realiza las siguientes etapas en su proceso (Fig. 1.2):

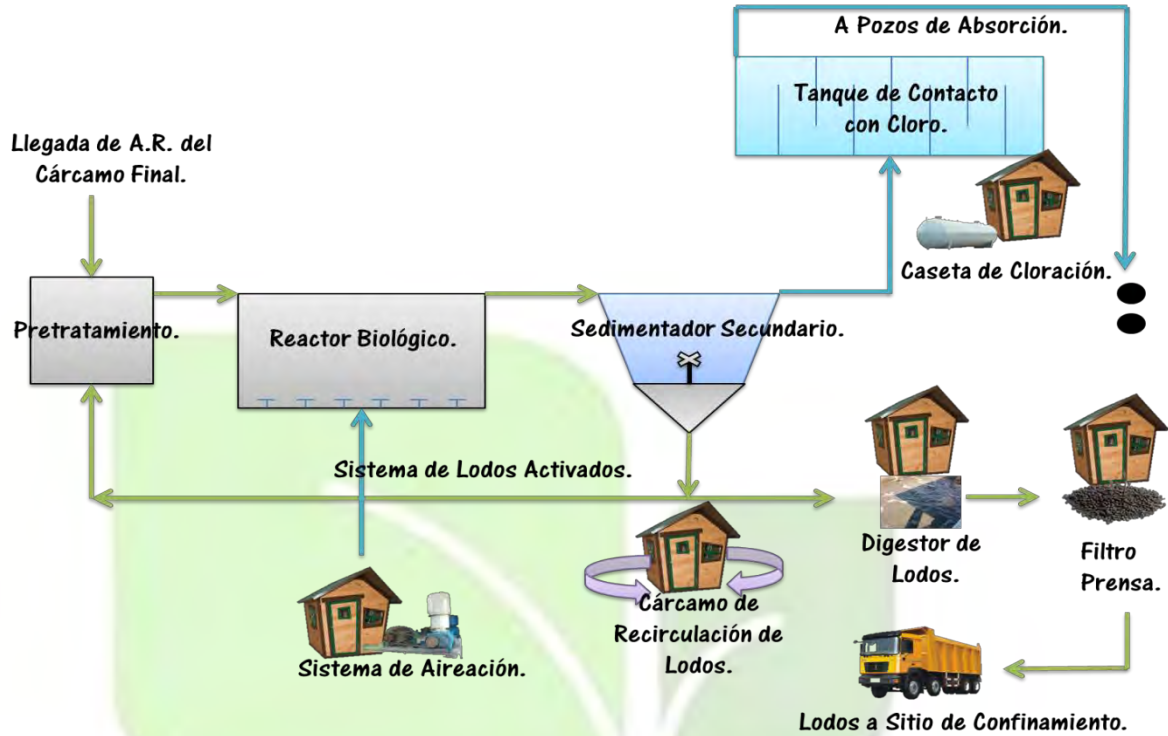


Fig. 1.2.- Esquema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Centenario.

- Pretratamiento.
- Tratamiento Secundario.
- Desinfección.
- Tratamiento de Lodos.

1.2.- Pretratamiento.

En esta primera etapa el agua residual es recibida y depositada en una caja receptora, éste proceso cuenta con tres canales de desarenado con sus respectivas rejillas que realizan el cribado, es decir la eliminación de materia flotante (basura en general), materiales cuya presencia pueden provocar problemas en el funcionamiento y mantenimiento de los equipos de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Las unidades que integran el sistema de Pretratamiento se diseñaron para el caudal máximo, divididas en cuatro estaciones de tratamiento, uno para cada proceso (la recepción de A.R., el tamizado o cribado, el desarenado y la recirculación de lodos creando el licor mezclado con el agua nueva).

1.2.1.- Cribado.

El refinamiento se realiza por medio de rejillas y tiene como objetivo retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes en suspensión, que arrastra consigo el agua residual, éste es el primer proceso que se encuentra en la Planta de Tratamiento. Los materiales sólidos removidos se conocen como residuos del tamizado y con esto se consigue:

- Eludir depósitos posteriores.
- Evitar obstrucciones de canales, tuberías y conducciones en general.
- Interceptar las materias que por sus excesivas dimensiones podrían dificultar el funcionamiento de las unidades posteriores (Desarenador, medidor de caudal, decantadores, etc...).
- Aumentar la eficiencia de los tratamientos posteriores.
- Indirectamente, el consumo total de oxígeno necesario para la depuración.

1.2.2.- Desarenador.

Se cuenta con tres canales de sedimentación, su funcionamiento es la eliminación de las gravas y arenas por influencia de la gravedad, y el motivo es porque afectarían el funcionamiento del tratamiento primario y secundario por las siguientes razones:

- Por aumento de la densidad del lodo, lo que dificulta su separación de las paredes y fondo de los depósitos, así como de las conducciones.
- Por aumento del riesgo de atascamiento por acumulaciones en canales de tuberías, sobre todo en los cambios de dirección.
- Por la abrasión provocada sobre los elementos mecánicos en movimiento.

Por tanto es necesaria la separación de las gravas y arenas del agua residual que es recepcionada. Se mantienen en funcionamiento dos canales, mientras que el tercero se deshabilita para su posterior limpieza y eliminación del material particulado, el residuo es enviado al basurero municipal o a un sitio de confinamiento autorizado. Una vez limpio el canalón de sedimentación es habilitado nuevamente mientras que se le da mantenimiento al siguiente conducto.

1.2.3.- Recirculación de Lodos.

En este punto del Pretratamiento se mezclan los lodos que son recirculados con el agua residual que recientemente fue recepcionada, a esta composición se le llama licor mezclado y es la renovación e intercambio de microorganismos viejos y jóvenes por microorganismos de edad adulta.

1.3.- Tratamiento Secundario.

El presente modulo está compuesto por dos etapas muy importantes que realizan la depuración del agua residual haciéndola menos dañina para el medio ambiente y finalmente para que pueda ser enviada al tanque de contacto con cloro.

1.3.1.- Reactor Biológico.

Éste proceso es donde se lleva a cabo un tratamiento biológico, ya que el trabajo lo realizan los microorganismos que se encuentran en los dos tanques y éstos son sometidos a un aireado de flujo constante con el objetivo de reducir el contenido de materia orgánica y nitrógeno amoniacal presente en el agua residual, formando a su vez un lodo activado. El sistema opera con dos reactores de lodos activados de 3200 m³ de volumen total (Fig. 1.3).

Los microorganismos y el agua servida fluyen hacia el clarificador para ser separados con el proceso de lodos activados, las bacterias del lodo regresan al principio del sistema primario y una parte es dirigida al procesamiento de lodos.

1.3.2.- Sedimentador Secundario o Clarificador.

El objetivo de este proceso consiste en la decantación de los sólidos biológicamente digeridos y floculados para remover el resto de la DQO y SS remanentes en el agua, quedando en los niveles de polución mínima. El agua que contiene materia particulada fluye con lentitud a través del tanque de sedimentación, de esta manera se retiene lo suficiente (se sedimentan partículas cada vez más pequeñas a medida que se incrementa el tiempo de retención) para que las partículas más grandes se asienten en el fondo antes de que el agua clarificada salga del tanque por un vertedero en el extremo superior. Las partículas que se han sedimentado en el fondo del tanque se extraen por medio de raspadores mecánicos para descargarse en una alcantarilla, devolverse a la fuente de

agua si ello es permisible, o almacenarse en el local con vistas a su posterior tratamiento o eliminación.

1.4.- Desinfección.

La Planta de Tratamiento cuenta con una caseta de cloración con tres tanques que sirven de almacenamiento para el gas cloro, el cual se usa como agente químico desinfectante. En este último proceso de la Planta para la obtención del producto, el agua resultante del clarificador, es sometida a contacto con gas cloro (Cl_2), que sirve para la eliminación de organismos patógenos que pueden dañar al cuerpo receptor. La estrategia que se usa para garantizar la mezcla de la sustancia con el agua y realizar en forma eficiente la desinfección es en un tanque con forma de laberinto, provocando cierto tiempo de retención para una mejor depuración.

1.5.- Tratamiento de Lodos.

Para ésta área se cuenta con un cárcamo de retorno de lodos en la Planta, éste sirve como depósito de los lodos separados en el tanque sedimentador. Un porcentaje de estos lodos son desechados para su respectivo tratamiento y otro porcentaje es enviado al Pretratamiento con la objetividad de mantener una buena concentración de microorganismos que degradarán la materia orgánica presente en el agua residual.

1.5.1.- Digestor de Lodos.

El objetivo de éste proceso es lograr la reducción de los lodos aproximadamente de 30 – 80% antes de cualquier tipo de tratamiento posterior. Aquí los lodos son estabilizados con el objetivo de reducir la presencia de patógenos, la eliminación de olores y reducir su potencial de putrefacción. En éste método de igual manera como ocurre en el Reactor Biológico, el lodo es aireado para que toda la materia pueda disolverse.

1.5.2.- Deshidratación de Lodos.

En esta área se ubica el filtro prensa, el cual se utiliza para la deshidratación de lodos generados en el tratamiento de las aguas servidas. Éste consiste en reducir la humedad que tienen los lodos al final de su tratamiento, es decir, liberar el agua drenándola por gravedad a través de una banda horizontal. El lodo tiene que ser adicionado químicamente utilizando un polímero que se alimenta por

un inyector, esperando un tiempo determinado para iniciar la floculación adecuada. El lodo floculado es dispersado a través de lo ancho de la banda con la dimensión de 1.5 metros, el agua drenada es recirculada al proceso primario. Por último se utiliza agua limpia a presión para eliminar los residuos de lodo y polímero de los poros de la banda.



Fig. 1.3.- Reactor Biológico de la Planta de Tratamiento Centenario.

Ingeniería
AMBIENTAL



**CAPÍTULO II: MATERIALES Y
MÉTODOS.**

Ingeniería
AMBIENTAL

En el presente capítulo se describen los métodos y materiales utilizados durante la realización del diagnóstico de cada uno de los procesos de la Planta Centenario, de los cuales los resultados obtenidos por estas determinaciones, se ven reflejados en el capítulo siguiente.

2.1.- Determinaciones Analíticas.

La concentración de materia orgánica en el agua residual de la Planta Centenario se midió como Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el Pretratamiento y en el Biorreactor. Las muestras se tomaron cada media hora en un tramo de ocho horas aproximadamente. La DQO se obtuvo mediante el método de Reflujo Cerrado (APHA, AWWA & WEF, 1995), y usando un espectrofotómetro, Hach® (Hach, 1997). La concentración de biomasa en el Reactor de Lodos Activados de la Planta Centenario se midió como Sólidos Suspendedos Totales (SST), mediante el método de filtración (APHA, 1995). La concentración del ión amonio ($N - NH_4^+$) se determinó por el método Nessler (APHA, AWWA & WEF, 1995), utilizando kits analíticos comerciales y un espectrofotómetro, Hach® (Hach, 1997). El Oxígeno Disuelto (OD) se determinó con un medidor Hanna de OD.

2.2.- Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL).

En el Reactor Biológico, el Índice Volumétrico de Lodos (IVL), se calculó de acuerdo con la metodología descrita en Métodos normalizados (APHA, 1995) y con la siguiente ecuación:

$$IVL = \frac{\text{volumen sedimentado de lodo} \left[\frac{mL}{L} \right] \times 1000}{SST \left[\frac{mg}{L} \right]} \quad (2.1)$$

$$SST = \text{concentración de sólidos suspendidos totales} \left[\frac{mg}{L} \right]$$

En la práctica se coloca el lodo en un cilindro de un litro graduado y la interfaz del lodo sedimentado se mide después de 30 min (Fig. 2.1). El IVL se ha encontrado para ser influenciado por muchos factores, entre los que están la concentración inicial de sólidos, el diámetro del cilindro de ensayo, y la velocidad de agitación de la muestra durante el asentamiento.



Fig. 2.1.- Toma de muestra en el Biorreactor para la determinación del IVL.

El efecto de la concentración de sólidos en el IVL es más importante y se muestra en la Fig. 2.2 para un lodo típico. A continuación el punto (a) el IVL es relativamente independiente de la concentración de sólidos.

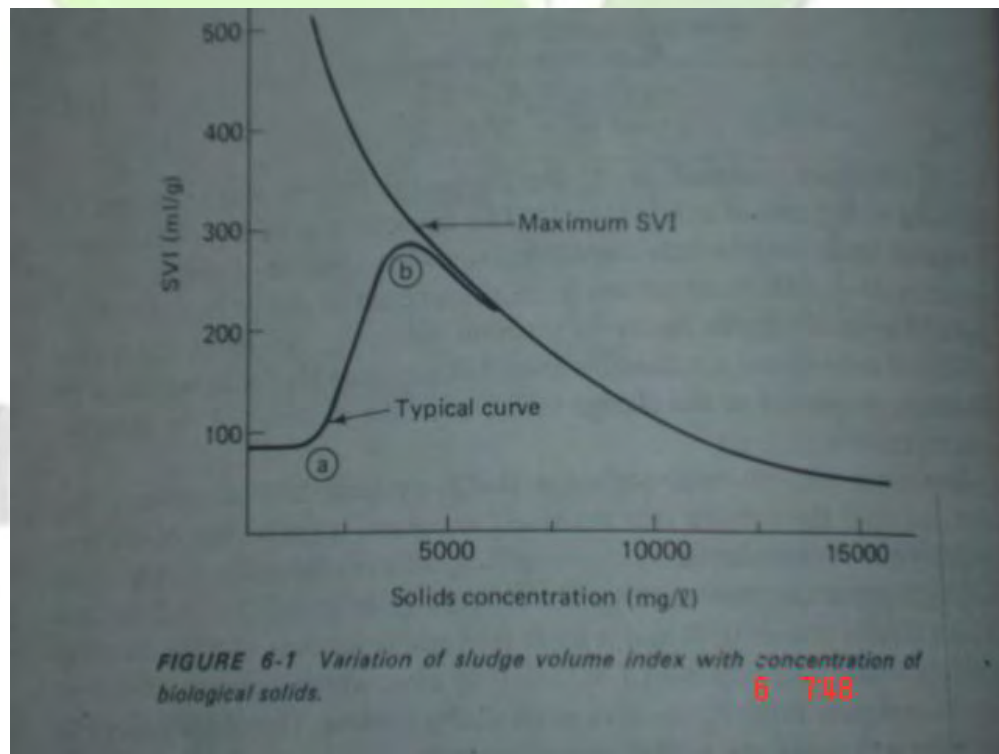


Fig. 2.2.- Variación del IVL contra concentración de materia orgánica.

Encima del punto (a) y por debajo del punto (b) el IVL es fuertemente dependiente de la concentración de sólidos debido a un fallo de los lodos al aglomerarse en un enrejado abierto grueso. Encima del punto (b) el IVL cae en paralelo la curva máxima. Esta curva máxima ilustra uno de los problemas con el uso del IVL. Un lodo de 10,000 mg/L de sólidos, incluso si no se conformó, tendría un máximo IVL de 100 mL/g, que se encuentra en la gama normalmente aceptable de 35 – 100 mL/g para las buenas características de sedimentación.

2.3.- Determinación para el Diseño del Sedimentador Primario.

Para calcular el porcentaje de remoción de sólidos esperados se utilizó la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\theta}{a+b\theta} \quad (2.2)$$

Dónde:

- 1.- Porcentaje de remoción esperado (R).
- 2.- Tiempo de retención hidráulico (θ).
- 3.- Constantes empíricas (a, b).

Para obtener el volumen adecuado del Sedimentador, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{\theta} \quad \text{Se despejó V para obtener el volumen, y se consiguió que: } V = Q\theta \quad (2.3)$$

De igual manera para conseguir el área necesaria requerida para el Sedimentador, se realizó lo siguiente:

$$\text{De la ecuación: } V = Ap \quad \text{se despejó A y se obtuvo: } A = \frac{V}{p} \quad (2.4)$$

$$\text{Para adquirir el radio se despejó r de: } A = \pi r^2 \quad \text{y se obtuvo: } r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2.5)$$



**CAPÍTULO III: RESULTADOS Y
DISCUSIÓN.**

Ingeniería
AMBIENTAL

En éste apartado se presenta el diagnóstico de las zonas de Pretratamiento, Tratamiento Secundario y Tratamiento de Lodos, las cuales son fundamentales para que se obtenga como resultado un agua tratada que satisfaga los criterios de calidad establecidos en la Norma Oficial Mexicana ECOL – 1996 y lodos con características CRTB permisibles de acuerdo a las normas 004 – SEMARNAT – 2002 y 052 – ECOL – 1993.

3.1.- Pretratamiento.

En la zona de Pretratamiento se detectaron los problemas siguientes:

1.- El medidor de caudal de agua residual mostrado en la Figura 3.1 no funciona correctamente, ya que la lectura siempre se mantiene en cero. Esto representa un problema porque se desconoce el caudal que entra al Desarenador ubicado en esta zona y al Reactor de la zona de tratamiento secundario; más adelante se analiza a detalle el impacto de este problema en la operación correcta de la planta.



Fig. 3.1.- Medidor Sensorial de Caudal.

2.- No existen datos de la eficiencia de remoción de sólidos del Desarenador, por lo cual se desconoce la concentración de sólidos suspendidos que entra al reactor.

3.- No consta un control adecuado en cuanto al caudal de entrada, por lo tanto no se alimenta a esta zona con un fluido constante como se muestra en la Figura 3.2 y 3.3.



Figs. 3.2 y 3.3.- Entrada de las aguas residuales y ausencia de caudal en el Desarenador, respectivamente.

4.- Durante los análisis en la Planta de Tratamiento se detectó en varias ocasiones la falta de recirculación de lodos en la parte final del Pretratamiento como se muestra en la Figura 3.5.

5.- El agua residual que entra a la Planta no es tratada en su totalidad, en ocasiones el 100% del caudal es desviado y descargado en la sabana sin tratamiento alguno como se puede observar en la Figura 3.4.



Figs. 3.4 y 3.5.- Desvío de las aguas residuales sin el previo tratamiento a la sabana y la falta de recirculación de los lodos en el Pretratamiento, respectivamente.

Por lo mencionado anteriormente la descarga del agua sin tratamiento genera problemas de contaminación, esto es evidenciado en las Figuras 3.6 y 3.7, las cuales presentan las concentraciones de la DQO soluble medidas en el afluente de la Planta de Tratamiento. Las concentraciones de DQO sobrepasan el límite establecido por la ley federal de derechos en materia de agua (publicada en el diario oficial de la federación el 24 de diciembre del 2007), donde se establece una concentración límite de la DQO de 200 mg L⁻¹, para la descarga de aguas residuales en ríos, embalses, estuarios y humedales naturales. De acuerdo con los datos presentados en la Figura 3.6 el valor máximo se indicó a las 08:00 hrs., con un promedio de 1173 mg DQO L⁻¹, y un mínimo de 459.67 mg DQO L⁻¹ a las 11:30 hrs.

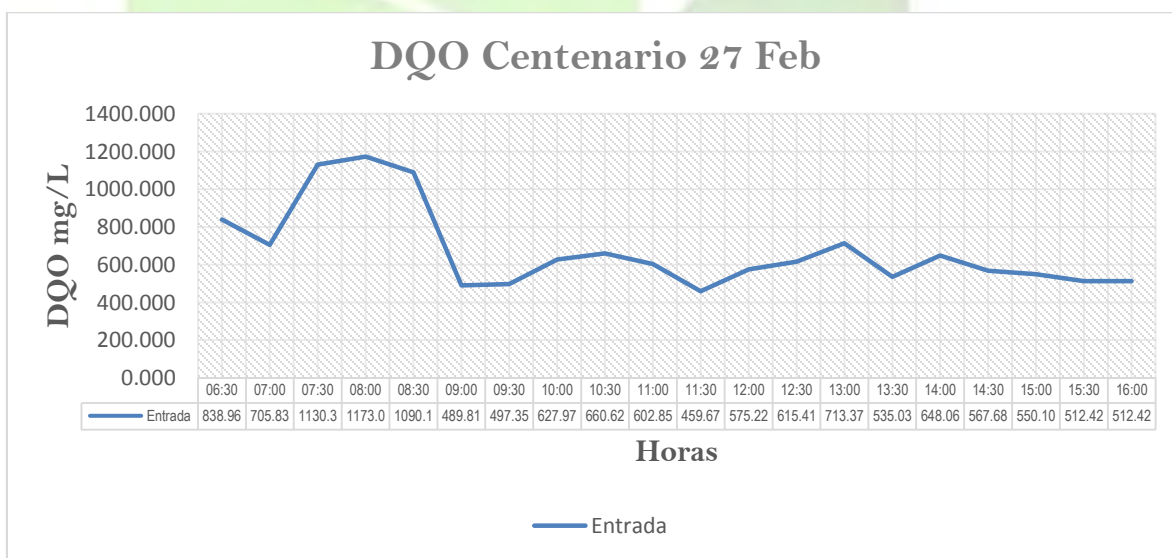


Fig. 3.6.- Mediciones de DQO en la zona de Pretratamiento.

Para el análisis presentado en la Figura 3.7, la concentración inicial fue la más alta con 725.9 mg DQO L⁻¹ a las 06:30 hrs., indicándose a las 08:00 hrs., el valor mínimo con 331.5 mg DQO L⁻¹. Los principales factores responsables de las variaciones de la concentración de materia orgánica que llega a la Planta, se deben al comportamiento y actividades de los residentes de la población (los cuales producen variaciones a corto plazo), las condiciones relacionadas con las estaciones (las cuales producen variaciones a corto y largo plazo) y las diferentes descargas de agua residual de tipo municipal.

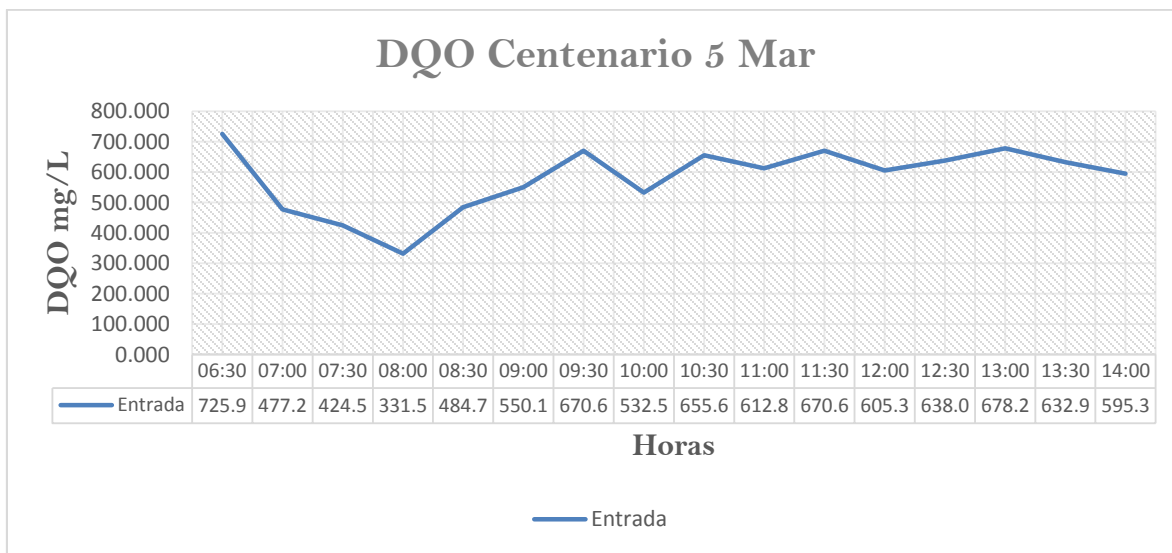


Fig. 3.7.- Mediciones de DQO en la zona de Pretratamiento.

Además en las aguas residuales el nitrógeno se encuentra en cuatro formas básicas: nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato. Cuando las aguas residuales son crudas, el nitrógeno se encuentra en forma de urea y compuestos proteínicos, pasando posteriormente a forma amoniacal por descomposición bacteriana. Comúnmente el agua residual doméstica tiene concentraciones de 20 – 50 mg/L de nitrógeno total. La NMX – 001 – ECOL – 1999, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, constituye que el promedio diario permisible de nitrógeno total descargado en cuerpos de agua receptores es de 25 mg/L. Por lo tanto el nitrógeno total es la suma del nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato.

Como se mencionó anteriormente, en ocasiones las aguas residuales son desviadas a la sabana sin el previo tratamiento, con altas concentraciones de ión amonio, causando una posible polución al cuerpo receptor. A continuación se presentan las mediciones de ión amonio, consumadas en dos diferentes fechas: para la Figura 3.8 la máxima se presentó a las 12:30 horas con una concentración de 133.5 mg NH₄⁺/L, y la mínima con 82.75 mg NH₄⁺/L a las 06:30 horas (valor promedio = 105.90 mg NH₄⁺/L). Para la Figura 3.9, la concentración más alta se registró a las 13:30 horas con 52 mg NH₄⁺/L y la mínima a las 08:30 horas con 21.5 mg NH₄⁺/L (valor promedio = 31.25 mg NH₄⁺/L). Por lo que las concentraciones obtenidas están por encima del rango permisible descrito en la NMX – 001 – ECOL – 1999.

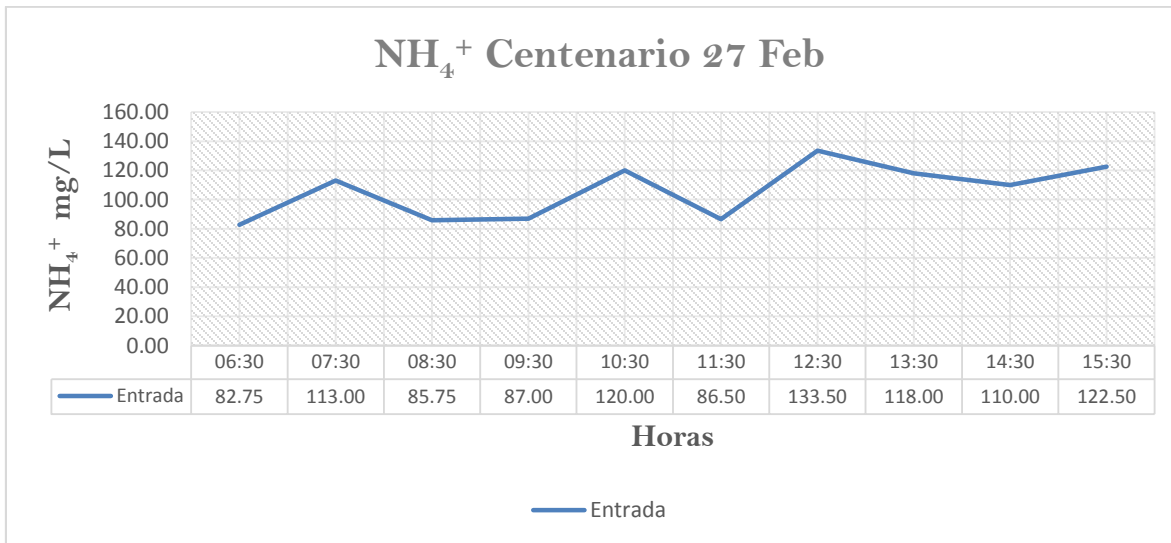


Fig. 3.8.- Mediciones de ión amonio (NH₄⁺) en la zona de Pretratamiento.

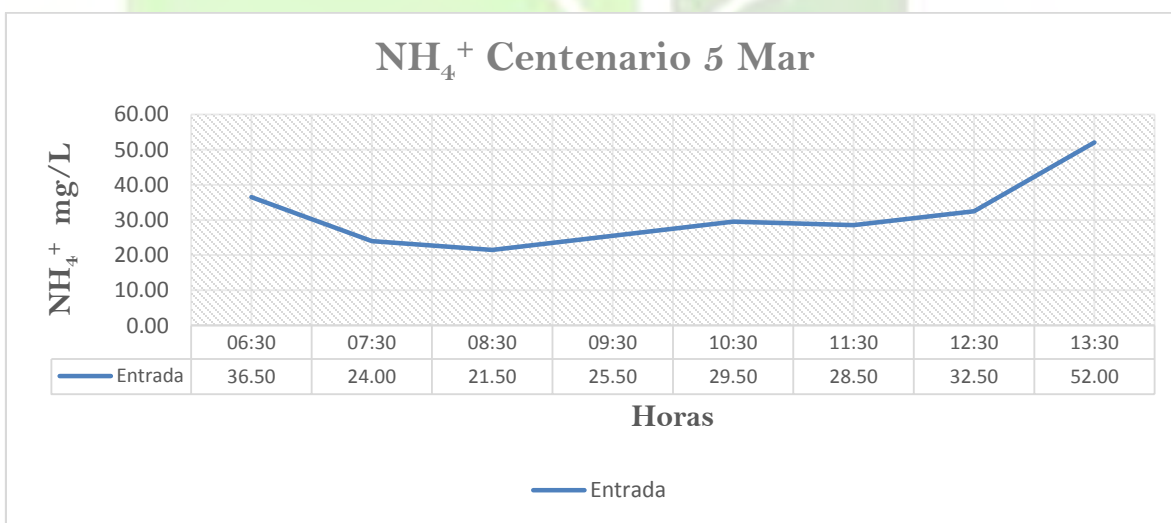


Fig. 3.9.- Mediciones de ión amonio (NH₄⁺) en la zona de Pretratamiento.

Por otra parte, en la Planta no se lleva un control en la eficiencia de remoción de sólidos ya que en las mediciones realizadas, la concentración promedio de SST en el agua residual alimentada al Desarenador varió entre 100 mg/L y 280 mg/L, las mediciones de SST a la salida del Desarenador demostraron que no se presentaba una remoción significativa de SST por lo cual es necesario diseñar un sedimentador primario para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de remoción de agua.

3.1.1.- Diseño de un Sedimentador Primario.

En el diseño del Sedimentador Primario, se utilizó la metodología descrita por Tchobanoglous y Crites, 2010, y se seleccionó un tiempo de residencia hidráulico de 2.5 horas el cual está dentro del intervalo recomendado para Sedimentadores Primarios (Tchobanoglous y Crites, 2010). El volumen del Sedimentador Primario se calculó con base al caudal (120 L/s) de diseño de la planta de tratamiento, y como criterio de diseño se estableció una profundidad de 4 metros, lo cual, es generalmente lo requerido para éste tipo de sistemas. El volumen calculado fue de 1080 m³, con un área de 270 m² y un radio de 9.3 m, considerando un sedimentador circular con un porcentaje de remoción del 59%.

3.2.- Sistema de Lodos Activados.

Se realizó el análisis del funcionamiento del Sistema de Lodos Activados y se detectaron inicialmente dos problemas, uno de ellos consistió en un problema de instrumentación y el otro concerniente a las condiciones de operación.

3.2.1.- Problemas detectados en el Biorreactor.

1.- No se cuenta con un rotámetro en la línea de suministro de aire al reactor por lo cual el flujo de aire alimentado a éste es desconocido.

2.- El Sistema no cuenta con medidor de caudal en la línea de recirculación de lodos al Reactor Biológico por lo que el caudal de recirculación (Q_R) es desconocido, además el medidor de caudal afluente (Q_0) a la Planta no funciona, por lo que el valor de estos parámetros además de ser variable es desconocido. La falta de conocimiento de estos caudales impide determinar la edad de los lodos o su tiempo de retención de sólidos en el Reactor, el cual puede calcularse con la siguiente expresión (Tchobanoglous y Crites, 2010):

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X_r + Q_e X_e} \quad (3.1)$$

El conocimiento de éste parámetro es importante para un Sistema de Lodos Activados, por lo tanto, es recomendable que θ_c se encuentre entre tres y catorce días (Tchobanoglous y Crites, 2010), ya que a tiempos por debajo del límite inferior los lodos producidos no tienen buenas características de

sedimentación, debido a que la biomasa producida no es lo suficientemente densa para sedimentar, y para tiempos mayores a catorce días, los flóculos de bacterias formados, son demasiado pequeños para sedimentar de manera rápida, además de que la fracción de microorganismos vivos se reduce (Sundstrom y Klei, 1979). Un lodo con buenas características de sedimentación es esencial en un proceso de lodos activados, puesto que el funcionamiento del sedimentador secundario incide de manera importante en la estabilidad del proceso.

Con respecto al segundo problema se detectaron las siguientes condiciones de operación:

- a) Alimentación de agua residual al sistema con recirculación de lodos.
- b) Alimentación de agua residual al sistema sin recirculación de lodos.
- c) Interrupción de la alimentación del agua residual sin recirculación de lodos (proceso en lote).
- d) Interrupción de la alimentación del agua residual con recirculación de lodos.

Estas condiciones de operación que se presentaban a lo largo del día del funcionamiento de la Planta, en las condiciones c y d, el agua residual era descargada directamente a la sabana (la cual se encuentra ubicada en la parte posterior de la Planta) sin tratamiento alguno. Las Figuras 3.10 y 3.11 presentan las variaciones horarias en la concentración de materia orgánica soluble del agua residual en el reactor de lodos activados, medidas en dos diferentes fechas. Con respecto a las variaciones en la concentración de materia orgánica al Reactor Biológico (Fig. 3.15), las condiciones de operación antes mencionadas influyen de tal manera que no se presentan condiciones de estado estacionario en el reactor (concentraciones de materia orgánica, biomasa y amonio constantes).

Como se puede observar en las gráficas las concentraciones de materia orgánica variaron desde 758.5 hasta 32.65 mg DQO L⁻¹ (valor promedio = 249.5 mg DQO L⁻¹) para la Fig. 3.10. Y de 251.2 a 15.1 mg DQO L⁻¹ (valor promedio = 130.2 mg DQO L⁻¹) para la Fig. 3.11.

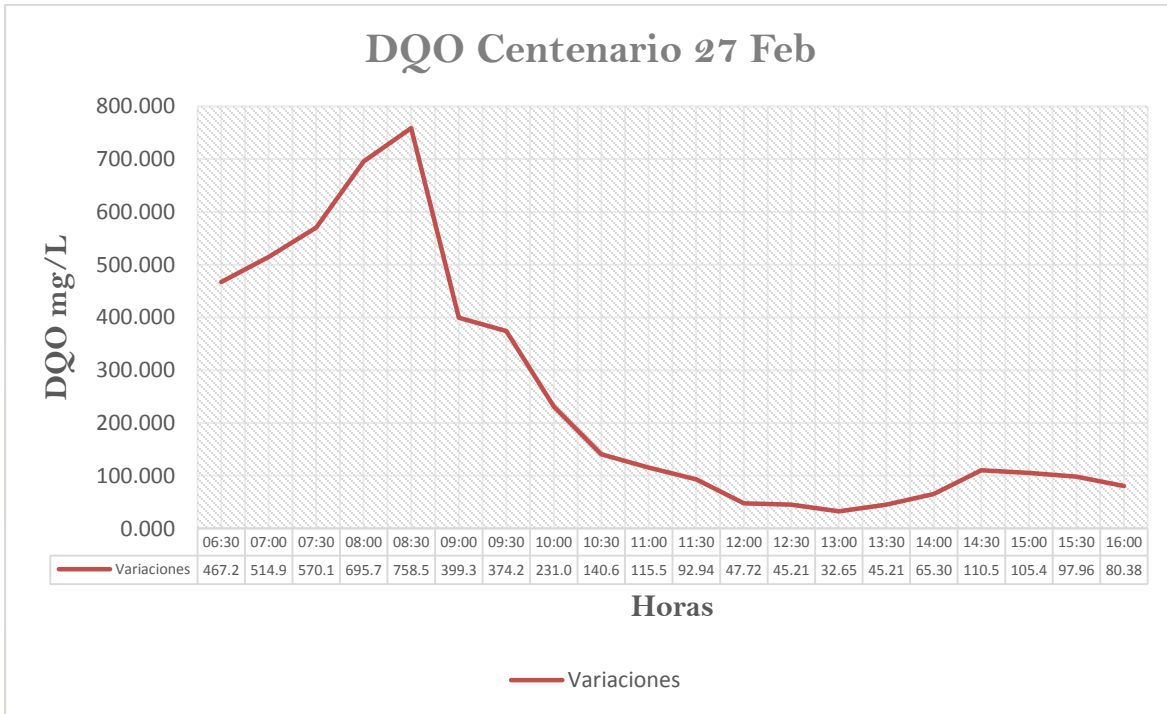


Fig. 3.10.- Variaciones en el Biorreactor.

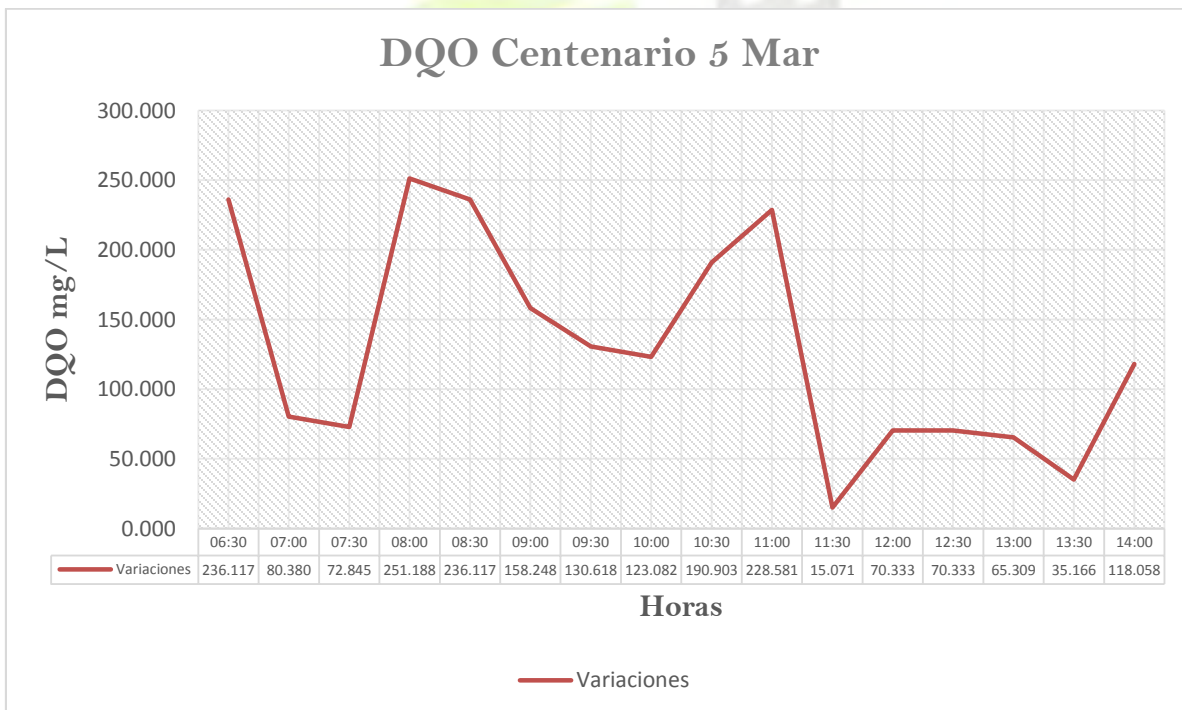


Fig. 3.11.- Variaciones en el Biorreactor.

Como se mencionó anteriormente, el Sistema de Lodos Activados es en ocasiones alimentado con el agua residual proveniente de un cárcamo cercano a la Planta, bajo esta condición de operación, el agua tratada en el Sistema es enviada a desinfección con cloro y posteriormente descargada en pozos de absorción (Fig. 3.12). Debido a que se presentan problemas de artesianismo en los pozos, los cuales son alimentados por el agua previamente tratada por medio de un equipo de bombeo (Fig. 3.13), el agua es desviada a la sabana, puesto que también se han realizado estudios de geofísica para determinar el emplazamiento de los nuevos pozos. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (publicada el 24 de diciembre de 2007 en el Diario Oficial de la Federación), donde se establece una concentración de la DQO límite máxima permisible en la descarga de aguas residuales en ríos, embalses, estuarios y humedales naturales de 200 mg DQO L⁻¹ para el promedio mensual (Fig. 3.14), el agua tratada por el sistema excedería el límite máximo permisible.



Fig. 3.12 y 3.13.- Tubería hacia pozos de absorción y válvulas y bombas para alimentar los pozos de absorción con el agua tratada, respectivamente.

Parámetro	Cuerpos Receptores de las Descargas		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
	Ríos, Aguas Costeras y Suelo	Ríos, Embalses, Aguas Costeras, Estuarios y Humedales Naturales	Ríos y Embalses
SST [mg L ⁻¹]	150	75	40
DQO [mg L ⁻¹]	320	200	100

Fig. 3.14.- Límites Máximos Permisibles en las descargas de Aguas Residuales (Diario Oficial de la Federación, 2007).

Además es importante mencionar que en las condiciones de operación b y c donde el agua residual es descargada sin tratamiento alguno, también se excede el límite máximo permisible, donde la concentración promedio fue de 675.3 mg DQO L⁻¹ para el análisis del 27 de febrero (Fig. 3.6), y de 580.4 mg DQO L⁻¹ para el análisis del 5 de marzo (Fig. 3.7). La descarga del agua residual con altas concentraciones de materia orgánica además de generar problemas de contaminación en el cuerpo de agua receptor, conlleva también problemas de multas económicas que se establecen en la Ley antes mencionada.



Fig. 3.15.- Reactor Biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Centenario.

3.- Existen deficiencias en la operación del proceso y esto a su vez se refleja en las variaciones de remoción de contaminantes en el sistema.

3.2.2.- Problemas de Sedimentación.

La Figura 3.16 presenta una imagen de la superficie del reactor de lodos activados, como se puede observar se presentó formación de espuma en la superficie del agua residual, esta espuma fue observada durante los días de muestreo y análisis. La formación de espuma se debe al crecimiento de la bacteria de tipo filamentososa *Nocardia*, el crecimiento de estas bacterias filamentosas es un grave problema para el proceso de lodos activados, a causa de que estas bacterias no sedimentan y por lo tanto la separación de la biomasa en el sedimentador se ve afectada, lo cual afecta también el proceso en el reactor.

La Tabla 3.1 presenta los valores medidos del IVL para los lodos del Reactor de la Planta, de acuerdo con estos valores se pueden definir las características de sedimentación del lodo (Tabla 3.2). Conforme a los datos del IVL medidos, los lodos del reactor presentan problemas de hinchamiento. El hinchamiento puede ser causado por el crecimiento de organismos filamentosos (fundamentalmente *Sphaerotilus*) que no sedimentan, el crecimiento de microorganismos que incorporan grandes volúmenes de agua en su estructura celular, haciendo que su densidad se aproxime a la del agua, evitando así que sedimenten. Estos problemas de hinchamiento del lodo y de formación de espuma generan, además de problemas en el sedimentador (Fig. 3.18), otros problemas como la descarga de sólidos biológicos en el efluente y el gran volumen de lodos que debe ser manejado en la salida. La presencia de este tipo de bacterias figura un gran problema ya que debido a las dificultades de sedimentación los operarios de la Planta interrumpen la alimentación del agua residual al sistema de lodos activados y la descargan a la sabana. Esto debido a que por la presencia de estas bacterias se requiere un tiempo de residencia mayor al normal para que haya una sedimentación adecuada y se obtenga un efluente con baja concentración de microorganismos. Al interrumpir la alimentación de agua residual al sistema, el reactor opera en forma intermitente o en lote y esto genera otro problema. El trabajo de tesis realizado por Ervin Flores (2014), estimó la velocidad de crecimiento específico máximo (μ_{max}) y la constante de afinidad por sustrato (K_s) del reactor de lodos activados, con estos parámetros cinéticos y mediante el modelo *Activated Sludge Model 1 (ASM1, IWA 1991)*, Flores calculó el requerimiento de oxígeno durante el proceso en lote

en el Reactor y sus resultados mostraron que durante éste tipo de funcionamiento el requerimiento de oxígeno, es mayor comparado al requerimiento de oxígeno para un proceso operado en forma continua, incrementando así los costos de operación.



Fig. 3.16.- Formación de Espuma en el Reactor Biológico.

Tabla 3.1.- Valores obtenidos del IVL en la P.T.A.R. "El Centenario".

SST (mg/L)	Volumen Sedimentado	IVL (mL/g)	Fecha
2800	580	270	28 Feb.
3600	640	178	07 Mar.
3400	835	246	08 May.

Tabla 3.2.- Relación entre el IVL y características de sedimentación de lodos (Gray, 1999).

Rango del IVL (mL/g)	Características de Sedimentación de lodos y de compactación.
<80	Excelente
80 - 150	Moderado
>150	Pobre

3.2.3.- Control de Organismos Filamentosos.

El control de organismos filamentosos se puede llevar a cabo de varias formas dentro de las que se incluyen: 1) adición de cloro o peróxido de hidrógeno al lodo activado de retorno; 2) alteración de la concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aireación; 3) alteración de los puntos en los que se añaden desechos al tanque de aireación con el fin de modificar la relación F/M (alimento – microorganismos); 4) adición de nutrientes principales (p. ej., nitrógeno y fósforo); 5) adición de metales de traza, nutrientes y factores de crecimiento y, más recientemente, 6) adición de talco inorgánico y 7) el uso de un selector. Se debe tener en cuenta que el uso de un selector no resolverá los problemas causados por el oxígeno disuelto o por las deficiencias nutricionales (Tchobanoglous y Crites, 2010).

Un selector es un tanque pequeño (tiempo de contacto de 20 – 60 minutos), o una serie de tanques (generalmente tres), en los cuales el agua residual entrante se mezcla con el lodo de retorno bajo condiciones aerobias, anóxicas o anaerobias. El uso de un selector para controlar los organismos filamentosos fue propuesto por primera vez por Chudoba *et al.* (1973). La alta concentración del sustrato en el selector favorece el crecimiento de microorganismos no filamentosos. Si se añade agua residual directamente a un reactor de mezcla completa, la baja concentración del sustrato en el reactor favorecerá el crecimiento de organismos filamentosos. Las tasas de carga recomendadas para un reactor de mezcla completa son las siguientes (Tchobanoglous y Crites, 2010):

1.- Primer compartimiento = 12 kg DQO /kg SSLM•d

2.- Segundo compartimiento = 6 kg DQO /kg SSLM•d

3.- Tercer compartimiento = 3 kg DQO /kg SSLM•d

Para selectores anóxicos, los valores de F/M se pueden reducir ya que el selector utiliza tanto un ciclo de inanición como la capacidad para denitrificar selectivamente en contra de los organismos filamentosos. Las cargas recomendadas son:

1.- Primer compartimiento = 6 kg DQO /kg SSLM•d

2.- Segundo compartimiento = 3 kg DQO /kg SSLM•d

3.- Tercer compartimiento = 1.5 kg DQO /kg SSLM•d

La *Nocardia*, una bacteria hidrofóbica que crece en forma de filamento, puede conducir a la formación de una espuma hidrofóbica en la superficie de las unidades de tratamiento biológico (el tanque de aireación y el tanque de sedimentación secundario). Cuando los organismos crecen en número suficiente, tiende a atrapar burbujas de aire en cantidad suficiente para que floten en la superficie y se acumulen como espuma. El problema con la *Nocardia* se aumenta por el hecho de que las instalaciones para el tratamiento biológico, así como los tanques de sedimentación secundario, tienen tabiques, lo cual tiende a retener estos organismos y, por consiguiente, a fomentar su crecimiento continuo. Rara vez hay problemas con la *Nocardia* en Plantas de Tratamiento sin tabiques. Los requerimientos de la U.S. EPA, de que todas las instalaciones deben tener desnatadores superficiales, lleva en general a la acumulación de este organismo. El problema es continuo cuando se recircula internamente la espuma de *Nocardia* (p. ej., de regreso hacia las etapas iniciales del proceso). Dentro de las medidas que pueden tomarse para controlar la *Nocardia* están: 1) evitar el contacto de la espuma y la nata que va hacia las etapas iniciales del proceso a otros puntos internos; 2) usar una cantidad pequeña de polímero para flocular el organismo; 3) usar en la superficie un aerosol con cloro diluido; 4) utilizar un selector anóxico y 5) usar un selector anaerobio. Las dos últimas medidas se pueden conseguir fácilmente en las Plantas diseñadas para remover nutrientes de forma biológica (Tchobanoglous y Crites, 2010).

3.2.4.- Selector de Lodos Activados.

El proceso del selector de lodos activados, se utiliza para controlar los crecimientos excesivos de bacterias filamentosas, las cuales resultan ser un gran problema en el sistema. Un selector es un proceso esencial en un Sistema de Lodos Activados, el cual precede al Biorreactor, recibe el agua residual (afluente) y los lodos recirculantes, y tiene un factor de carga importante. Proporciona condiciones ambientales que favorecen el crecimiento de los microorganismos floculantes a expensas de los microorganismos filamentosos, resultando mejoramiento en la decantación de fangos. Los Selectores utilizan dos mecanismos para llevar a cabo la selección microbiana: cinética y metabólica. La selección cinética se logra mediante la imposición de un factor de carga significativa en el proceso de la biomasa, proporcionando así una ventaja selectiva para los microorganismos con la capacidad de tomar sustrato, hasta fácilmente biodegradarlo a tasas elevadas. La selección

metabólica se consigue controlando el receptor terminal de electrones disponibles en el selector. Los selectores aireados, utilizan la selección cinética. Los selectores anóxicos y anaerobios, usan la selección metabólica, y también pueden o no utilizar los mecanismos de selección cinética. Un selector es generalmente una pequeña fracción de todo el volumen del Biorreactor y con frecuencia es escalonado, como se ilustra en la Figura 3.17.

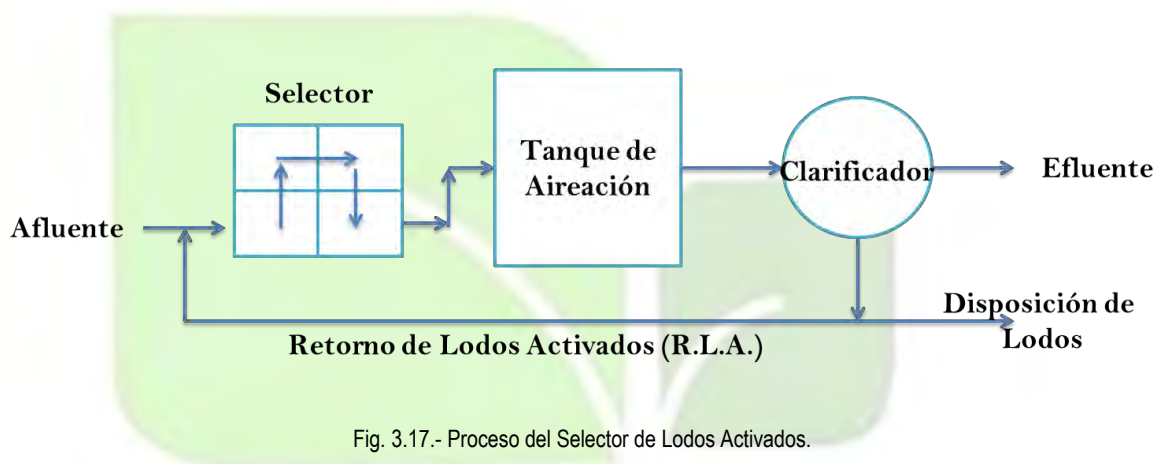


Fig. 3.17.- Proceso del Selector de Lodos Activados.

Puede construirse como una estructura separada, o puede ser simplemente una parte del Biorreactor para proporcionar al proceso el factor de carga necesario. El fluido debajo del selector y del Biorreactor puede ser de mezcla completa o de flujo pistón, aunque generalmente se sugiere el flujo pistón para un mejor rendimiento (Leslie Grady, Glen Daigger y Henry Lim, 1999).



Fig. 3.18.- Sedimentador Secundario.

Otro problema importante es que no se cuenta con una bitácora de registro que demuestre la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos que son determinantes en la calidad del agua tratada que se descarga a la sabana.

3.3.- Sopladores.

En esta zona los problemas detectados son los siguientes:

- 1.- La Planta cuenta con tres sopladores, de los cuales sólo uno está en funcionamiento las 24 horas (Fig. 3.19).
- 2.- Se requiere un controlador de velocidad variable para regular la rapidez de los motores.
- 3.- La falta de un rotámetro, para la medición del flujo de aire alimentado a los reactores.



Fig. 3.19.- Sopladores de Desplazamiento Positivo.

3.4.- Tratamiento de Lodos.

3.4.1.- Digestor de lodos.

El digestor de lodos presenta problemas de aireación como en la línea de flujo de aire del Biorreactor, no se sabe qué cantidad de aire es suministrado para la correcta reducción de los lodos.

Por otra parte no siempre está en constante funcionamiento, debido a las fallas que se mencionaron anteriormente en las etapas del proceso.

3.4.2.- Filtro prensa.

El filtro prensa de igual manera no está en constante funcionamiento, no hay deshidratación de lodos. Por otra parte los lodos que ya han sido deshidratados, no son analizados y estos son desechados al basurero municipal y otra parte es sólo arrojada detrás de las instalaciones, es decir, a orillas de la sabana. Como se mencionó anteriormente, no se sabe si los lodos puedan presentar características corrosivas, reactivas, tóxicas o biológico infecciosas (CRTB), puesto que no son analizados por los operarios de la Planta.

3.5.- Laboratorio.

Las instalaciones del laboratorio (Fig. 3.20) en la Planta no están en condiciones para operar adecuadamente, no hay suficientes reactivos, faltan equipos de medición actualizados e instrumentos para la realización de pruebas; por consiguiente no hay medición de oxígeno disuelto, DBO₅, DQO soluble, SST, fósforo, nitrógeno total, amonio, nitratos, nitritos, sulfuro total, etc., es decir, no hay un monitoreo constante y adecuado en la Planta.



Fig. 3.20.- Laboratorio de la Planta Centenario.

3.6.- Propuestas de Solución a los Problemas Detectados.

A continuación se presenta una tabla de los estragos que se evidenciaron en la Planta, anteriormente puntuados y su respectiva propuesta para el mejoramiento de ésta, con el objetivo de que el producto y subproducto obtenidos en el proceso, no sobre pasen los límites establecidos en las normas oficiales mexicanas.

Tabla 3.3.- Propuestas de Solución a los Problemas Detectados en la Planta.

	Problemas Detectados	Propuestas de Solución
1	Inchamiento de lodos, presencia de espuma en el Biorreactor y problemas de sedimentación en el Clarificador por Nocardia.	Para el control de microorganismos filamentosos como la Nocardia, es necesaria la implementación de un Tanque Selector.
2	Falta de datos de la eficiencia de remoción de SST en el Desarenador que hacen desconocer la concentración que entra al Reactor.	Se requiere un Sedimentador Primario para una remoción adecuada de SST y así evitar problemas de lodos en las etapas posteriores.
3	Falta de instrumentos de medición en la entrada del agua residual, en la línea de suministro de aire al Biorreactor, en la línea de recirculación de lodos, un controlador de velocidad variable para regular la rapidez de los sopladores.	Se necesita conseguir cada medidor para el mejoramiento del proceso, así ya no será necesario que la operación sea en lote y no haya un gasto de energía innecesario en el suministro de aire al Biorreactor.
4	Sólo un soplador opera las 24 horas.	Se requiere que uno de los dos sopladores inservibles, funcione para mejorar el proceso de suministro de aire al Biorreactor.
5	Falta de monitoreo en la Planta de Tratamiento, por parte de los operarios.	Se requiere de reactivos, aparatos de medición actualizados e instrumentos de laboratorio para la realización de pruebas.



**CAPÍTULO IV:
CONCLUSIONES.**

Ingeniería
AMBIENTAL

1.- El mayor problema revelado fue la presencia de microorganismos filamentosos, los cuales fueron evidenciados por la presencia de espuma en el Reactor Biológico y por las mediciones del IVL realizadas (IVL mayores de 150 mL/g). La presencia de estos microorganismos afecta el funcionamiento del sedimentador secundario, por lo que el proceso no se puede operar en forma continua, motivo por el cual los operarios de la planta, en ocasiones, desvían el agua residual sin el previo tratamiento y la descargan a la sabana, lo cual causa un posible impacto al ecosistema receptor.

- Por lo tanto se requiere de un Tanque Selector, para el control, no sólo de las bacterias filamentosas, asimismo para el mejoramiento en la producción de lodos, en su recirculación y decantación, también en el afluente, logrando una mejora en el licor mezclado, en la remoción de materia orgánica en el Biorreactor y finalmente obteniendo un agua libre de contaminantes en el efluente, respetando los límites máximos permisibles de las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores, establecidos en las normas oficiales mexicanas.

2.- La falta de instrumentos de medición adecuados para la Planta, como el medidor del caudal de entrada, que no proporciona información del flujo del agua residual, debido a que no recibe señales sensoriales, puesto que no es el adecuado para el tipo de tubería empleada, ocasionando que siempre se mantenga en ceros.

-La falta de un rotámetro en la línea de suministro de aire al Biorreactor, también hace desconocer el flujo de aire que es alimentado a éste. El sistema no cuenta con un medidor de caudal en la línea de recirculación de lodos al reactor biológico, por lo que también se desconoce el caudal de recirculación. Por lo mencionado anteriormente, la falta de conocimiento de estos caudales, impide determinar la edad de los lodos o su tiempo de retención en el Biorreactor.

3.- La Planta tiene tres sopladores, de los cuales sólo uno opera las 24 horas, puesto que los otros dos están descompuestos, es necesaria la operación de uno más; se requiere un controlador de velocidad variable para regular la velocidad de los motores.


4.- No existe una eficiencia en la remoción de los SST (ésta también podría ser una de las razones por la cual, el medidor de caudal no recibe señales sensoriales, puesto que la tubería puede presentar suciedad en las paredes). Por lo tanto es necesaria la implementación de un

Sedimentador Primario para obtener una remoción adecuada de los SST y evitar problemas de lodos en los procesos posteriores.

5.- En general la Planta necesita ser monitoreada constantemente por los operadores, para esto necesitan reactivos, equipos de medición actualizados e instrumentación de laboratorio para la realización de pruebas y los instrumentos de medición antes mencionados. Es necesario que el afluente sea constante para obtener un proceso continuo y no en lote como ocurre actualmente, puesto que el suministro de aire implementado al Biorreactor es mayor al que se requiere, y esto se traduce como un gasto de energía innecesario.

-Aplicando todos los puntos antes mencionados, las mediciones de las fechas 27 de febrero y 05 de marzo, presentadas en el Capítulo III, podrían ya no ser las mismas cuando se realice un nuevo estudio, puesto que serían más estables y habría un mejoramiento en la producción de la Planta.





ANEXO I: TABLAS.

Ingeniería
AMBIENTAL

ANEXO I: TABLAS.

El presente anexo contiene las tablas de los nutrientes estudiados y sus respectivas concentraciones, obtenidas durante el análisis de las aguas residuales de la Planta, las cuales se mencionaron en el Capítulo III de Resultados y Discusión de éste trabajo.

Tabla 1.1.- Resultados DQO del día 27 de febrero de 2014.

Medición de DQO a 600 nm (Feb. 27)						
Muestras		Absorbancias		DQO _{x2511.88}		Remoción (%)
No.	Hora	Desarenador	Biorreactor	Desarenador	Biorreactor	
1	06:30	0.334	0.168	838.968	421.996	50%
2	07:00	0.281	0.205	705.838	514.935	27%
3	07:30	0.450	0.227	1130.346	570.197	50%
4	08:00	0.467	0.277	1173.048	695.791	41%
5	08:30	0.434	0.302	1090.156	758.588	30%
6	09:00	0.195	0.159	489.817	399.389	18%
7	09:30	0.198	0.149	497.352	374.270	25%
8	10:00	0.250	0.092	627.970	231.093	63%
9	10:30	0.263	0.056	660.624	140.665	79%
10	11:00	0.240	0.046	602.851	115.546	81%
11	11:30	0.183	0.037	459.674	92.940	80%
12	12:00	0.229	0.019	575.221	47.726	92%
13	12:30	0.245	0.018	615.411	45.214	93%
14	13:00	0.284	0.013	713.374	32.654	95%
15	13:30	0.213	0.018	535.030	45.214	92%
16	14:00	0.258	0.026	648.065	65.309	90%
17	14:30	0.226	0.044	567.685	110.523	81%
18	15:00	0.219	0.042	550.102	105.499	81%
19	15:30	0.204	0.039	512.424	97.963	81%
20	16:00	0.204	0.032	512.424	80.380	84%

ANEXO I: TABLAS.

Tabla 1.2.- Resultados DQO del día 05 de marzo de 2014.

Medición de DQO a 600 nm (Mar. 05)						
Muestras		Absorbancias		DQO _{x2511.88}		Remoción (%)
No.	Hora	Desarenador	Biorreactor	Desarenador	Biorreactor	
1	06:30	0.289	0.094	725.933	236.117	67%
2	07:00	0.190	0.032	477.257	80.380	83%
3	07:30	0.169	0.029	424.508	72.845	83%
4	08:00	0.132	0.100	331.568	251.188	24%
5	08:30	0.193	0.094	484.793	236.117	51%
6	09:00	0.219	0.063	550.102	158.248	71%
7	09:30	0.267	0.052	670.672	130.618	81%
8	10:00	0.212	0.049	532.519	123.082	77%
9	10:30	0.261	0.076	655.601	190.903	71%
10	11:00	0.244	0.091	612.899	228.581	63%
11	11:30	0.267	0.006	670.672	15.071	98%
12	12:00	0.241	0.028	605.363	70.333	88%
13	12:30	0.254	0.028	638.018	70.333	89%
14	13:00	0.270	0.026	678.208	65.309	90%
15	13:30	0.252	0.014	632.994	35.166	94%
16	14:00	0.237	0.047	595.316	118.058	80%

ANEXO I: TABLAS.

Tabla 1.3.- Resultados de Ión Amonio (NH_4^+) por el método Nessler del día 27 de febrero.

Mediciones de Amonio por el método Nessler a 425 nm (Feb. 27)										
Muestras		Espectrofotómetro (mg/L)			Dilución (25 ml)	Resultados (mg/L)			Remoción (%)	
No.	Horas	$\text{NH}_3 - \text{N}$	NH_4^+	NH_3		$\text{NH}_3 - \text{N}$	NH_4^+	NH_3		
1	06:30	Desarenador	2.57	3.31	3.13	1.0	64.25	82.75	78.25	22%
		Biorreactor	2.13	2.57	2.59	1.0	53.25	64.25	64.75	
2	07:30	Desarenador	1.75	2.26	2.13	0.5	87.50	113.00	106.50	31%
		Biorreactor	2.43	3.13	2.95	1.0	60.75	78.25	73.75	
3	08:30	Desarenador	2.66	3.43	3.24	1.0	66.50	85.75	81.00	12%
		Biorreactor	2.34	3.01	2.84	1.0	58.50	75.25	71.00	
4	09:30	Desarenador	2.70	3.48	3.28	1.0	67.50	87.00	82.00	21%
		Biorreactor	2.14	2.76	2.60	1.0	53.50	69.00	65.00	
5	10:30	Desarenador	1.93	2.40	2.35	0.5	96.50	120.00	117.50	96%
		Biorreactor	0.16	0.20	0.19	1.0	4.00	5.00	4.75	
6	11:30	Desarenador	2.69	3.46	3.27	1.0	67.25	86.50	81.75	79%
		Biorreactor	0.57	0.73	0.69	1.0	14.25	18.25	17.25	
7	12:30	Desarenador	2.07	2.67	2.52	0.5	103.50	133.50	126.00	92%
		Biorreactor	0.34	0.44	0.41	1.0	8.50	11.00	10.25	
8	13:30	Desarenador	1.83	2.36	2.23	0.5	91.50	118.00	111.50	91%
		Biorreactor	0.33	0.43	0.40	1.0	8.25	10.75	10.00	
9	14:30	Desarenador	1.71	2.20	2.08	0.5	85.50	110.00	104.00	90%
		Biorreactor	0.33	0.42	0.40	1.0	8.25	10.50	10.00	
10	15:30	Desarenador	1.90	2.45	2.31	0.5	95.00	122.50	115.50	39%
		Biorreactor	2.32	2.99	0.00	1.0	58.00	74.75	0.00	

ANEXO I: TABLAS.

Tabla 1.4.- Resultados de Ión Amonio (NH_4^+) por el método Nessler del día 05 de marzo.

Medición de Amonio por el método Nessler a 425 nm (Mar. 05)										
Muestras		Espectrofotómetro (mg/L)			Dilución (25 ml)	Resultados (mg/L)			Remoción (%)	
No.	Horas	$\text{NH}_3\text{-N}$	NH_4^+	NH_3		$\text{NH}_3\text{-N}$	NH_4^+	NH_3		
1	06:30	Desarenador	0.56	0.73	0.69	0.5	28.00	36.50	34.50	76%
		Biorreactor	0.27	0.35	0.33	1.0	6.75	8.75	8.25	
2	07:30	Desarenador	0.38	0.48	0.46	0.5	19.00	24.00	23.00	72%
		Biorreactor	0.21	0.27	0.25	1.0	5.25	6.75	6.25	
3	08:30	Desarenador	0.34	0.43	0.41	0.5	17.00	21.50	20.50	73%
		Biorreactor	0.18	0.23	0.21	1.0	4.50	5.75	5.25	
4	09:30	Desarenador	0.40	0.51	0.48	0.5	20.00	25.50	24.00	81%
		Biorreactor	0.15	0.19	0.18	1.0	3.75	4.75	4.50	
5	10:30	Desarenador	0.46	0.59	0.55	0.5	23.00	29.50	27.50	78%
		Biorreactor	0.20	0.26	0.25	1.0	5.00	6.50	6.25	
6	11:30	Desarenador	0.44	0.57	0.53	0.5	22.00	28.50	26.50	15%
		Biorreactor	0.76	0.97	0.92	1.0	19.00	24.25	23.00	
7	12:30	Desarenador	0.50	0.65	0.61	0.5	25.00	32.50	30.50	43%
		Biorreactor	0.57	0.74	0.70	1.0	14.25	18.50	17.50	
8	13:30	Desarenador	0.81	1.04	0.98	0.5	40.50	52.00	49.00	65%
		Biorreactor	0.56	0.72	0.68	1.0	14.00	18.00	17.00	



**ANEXO II: BITÁCORA DE LA
PLANTA CENTENARIO.**

Ingeniería
AMBIENTAL

ANEXO II: BITÁCORA.

El presente anexo, muestra una lista elaborada durante el diagnóstico realizado en la Planta, la cual describe los problemas detectados en diferentes fechas.

Tabla 2.1.- Bitácora de los estragos en la Planta de Tratamiento Centenario, llevada a cabo durante el diagnóstico.

Fecha	Hora	Proceso	Nota
Feb. 27	6:30 - 11:00	Pretratamiento	No había caudal de entrada en el lapso de tiempo especificado, estaban desviando el agua de los cárcamos Ocho y Caribe a la sabana sin el previo tratamiento. Comenzaron a bombear agua al Pretratamiento aprox., a las 11:30 hrs., se detuvo a las 12:10; se bombeó nuevamente a las 13:15 y cesó a las 15:00 hrs., aproximadamente.
		Cárcamo de Recirculación	Se descompuso la bomba de recirculación de lodos.
Mar. 05	11:45	Filtro Prensa	No estaba en funcionamiento.
	13:10	Biorreactor	La recirculación de lodos se estaba efectuando en este paso del Tratamiento, en vez de ocurrir en el Pretratamiento para la obtención del Licor Mezclado, lo cual favorece a las bacterias en su degradación de M.O.
	13:15	Pretratamiento	Bombearon desde muy temprano, dejaron de hacerlo poco antes del medio día y lo reanudaron cerca de las 13:00 hrs. Aún no había medición del caudal.
Mar. 21	11:16	Pretratamiento	Había bombeo de Aguas Negras, el caudal era menor a los 50 L/s aproximadamente. Aún no había recirculación de lodos. Una de las rejillas no estaba puesta, por lo tanto había paso de sólidos al Tratamiento.
	11:18	Biorreactor	Seguían recirculando los lodos en este paso del tratamiento.
	11:22	Clarificador	Funcionaba normalmente.
	11:25	Cárcamo de Recirculación	En éste proceso la recirculación la efectuaron mediante una manguera de plástico, la cual no era apta por los derrames de lodos que se presenciaron en la Planta.
	11:30	Sopladores	Sólo una bomba de aireación se encuentra en funcionamiento, las dos restantes están averiadas hace más de un año. Hace falta un rotámetro y un controlador de velocidad variable.
	11:34	Digestor de Lodos	Los lodos se recirculan de la misma forma que en el Biorreactor; el filtro prensa no está en funcionamiento.

ANEXO II: BITÁCORA.

Mar. 25	8:30 - 9:30	Pretratamiento	Se encontraba totalmente seco, no había entrada de caudal. Aún no había recirculación de lodos para la formación del licor mezclado, aún desviaban.
		Biorreactor	Recirculaban los lodos en este proceso, había presencia de nata (flotación de lodos).
		Cárcamo de Recirculación	La recirculación se efectúa con una bomba de 200 hp provisional, ya que las dos bombas no estaban en funcionamiento.
		Clarificador	No estaba en funcionamiento, había flotación de lodos y verdín en el tanque.
		Tanque de contacto con Cl	Se encontraba rebosante y presentaba verdín en las paredes.
		Digestor de Lodos	No estaba en funcionamiento.
Mar. 27	8:30 - 9:30	Sopladores	Sólo una bomba de aireación se encuentra en funcionamiento, las dos restantes siguen averiadas. Hace falta un rotámetro y un controlador de velocidad variable.
		Pretratamiento	No había entrada de A.R. Aún seguían desviando a la sabana sin el previo tratamiento. No había recirculación de lodos ni medición de caudal.
		Biorreactor	Había flotación de lodos (presencia de nata).
		Clarificador	Había presencia de verdín y lodos flotantes en el tanque. No se encontraba en funcionamiento.
		Tanque de contacto con Cl	Seguía rebosante y con más presencia de verdín.
		Digestor de Lodos	No estaba en funcionamiento.
Sopladores	Sólo una bomba sigue en funcionamiento, las otras dos están averiadas.		

Ingeniería
AMBIENTAL

REFERENCIAS

Sundstrom, Donald William (1979). "Wastewater Treatment" (1a edition). United States of America: Editorial production supervision and interior desing by: James M. Chege.

Cárdenas, Salvador (2009). "¿Cómo opera una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales?". Consultado en Abril 14 de 2013 en <http://www.youtube.com/watch?v=dFNyvY5gRmU>

Burchard Señoret, Lucas Pedro Pablo (2010). "Manejo de Lodos". Consultado en Abril 14 de 2013 en <http://www.slideshare.net/lucasburchard/manejo-de-lodos>.

Toruño, Marcel (Agosto 14 de 2008). "Planta de Lodos Activados". Consultado en Abril 14 de 2013 en <http://www.youtube.com/watch?v=2rmcR4WDnGw>.

SEMARNAT (2011). "Normas Mexicanas en Materia de Agua". Consultado en Junio 28 de 2013 en <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nmx-agua.aspx>.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1985), "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", Inc. 16th ed; Washington, D.C.

Tchobanoglous y Crites (2010), "Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados", McGraw – Hill Interamericana, S.A.

B.C., Alex (2010). "Tratamiento de Agua Residual". Consultado en marzo 18 de 2014 en <http://www.youtube.com/watch?v=wqf5wQnywnQ>.

ARTHROBACTER (2009). "¿Cómo opera una PTAR?". Consultado en Marzo 18 de 2014 en <http://www.youtube.com/watch?v=zXD3C7I1ELw>.

ACUEDUCTOS (2010). "Alcantarillado Sanitario y Tratamiento de Aguas". Consultado en Marzo 18 de 2014 en http://www.acueductospr.com/download/folleto/ALCANTARILLADO_SANITARIO_JUL_2010.pdf.

EMP (2012). "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando". Consultado en Marzo 18 de 2014 en <http://www.youtube.com/watch?v=3bEhLJLR7UU>.

Tejero Gómez, Jorge Luis (2010). "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Centenario". Consultado en Mayo 05 de 2014 en <http://www.capa.gob.mx/cultura/pdfs/tratamiento.pdf>.

Grimaldi, Nilda (2003). "Problemas Biológicos en PT de Efluentes líquidos con Sistemas de Lodos Activados". Consultado en Julio 07 de 2014 en <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=549>.

Acuña Torres, Reinhardt (2008). "Cómo funciona una Planta de Lodos Activados". Consultado en Julio 08 de 2014 en <http://bioreactorcrc.wordpress.com/2008/04/30/como-funciona-una-planta-de-lodos-activados/>.

Leslie Grady, Glen Daigger y Henry Lim (1999). "Biological Wastewater Treatment". (1st. edition). Copyright © 1999 by Marcel Dekker, Inc. All Rights Reserved.

Morales, R. (2012). "Proceso de Depuración de Aguas Residuales". Consultado en Agosto 28 de 2014 en http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/morales_r_pm/capitulo3.pdf.

EPA (1999). "Reactores Secuenciales por Tandas". Consultado en Agosto 28 de 2014 en http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2003_07_10_mtb_cs_99_073.pdf.

Sundstrom Donald W. and Klei Herbert E. (1979). "Wastewater Treatment". © 1979 by Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.