



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA SANITARIA
Y AMBIENTAL

**DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN Y PROPUESTAS
DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
CHABACANO, EN XOCHIMILCO DF.**

T E S I S

Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL
Presenta

MEMBRILLO PACHECO RAUL

DIRECTOR DE TESIS: M.I. ENRIQUE CESAR VALDEZ

México D.F.

Octubre 2007



“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Maestro Enrique Cesar Valdez:

Le agradezco el gran apoyo y paciencia que recibí de usted durante el desarrollo de este trabajo y le doy las más sinceras gracias.

Ingeniero Honorio Enrique Ramírez Navarrete:

Le agradezco el gran apoyo y estimulación constantes para la elaboración de este trabajo, muchas gracias.

Con todo agradecimiento a:

Mi papa: José Luis Membrillo Estrada
Mi mama: Maria Guadalupe Pacheco Luna

Por haberme apoyado en mis estudios a pesar de todas las adversidades.

Con todo agradecimiento a:

Mis hermanos: Pablo Membrillo Pacheco
Rocío Membrillo Pacheco
Luis Membrillo Pacheco
Marisol Membrillo Pacheco
Mario Membrillo Pacheco
M^a Guadalupe Membrillo Pacheco
Dulce M^a Membrillo Pacheco

Por todo el afecto y amor en la vida familiar

Con todo agradecimiento a las siguientes instituciones cuya influencia fueron importantes:

Delegación Xochimilco.

Planta de tratamiento de aguas residuales "Cerro de la estrella".

UAM Iztapalapa, el Área en aguas residuales.

Muchas gracias.

Con todo agradecimiento a:

Mis amigos

Porque su compañía ha sido una de las mejores experiencias

He aprendido de todos ellos.

“Para realizar plenamente sus proyectos, Achab precisaba de instrumentos. Y de todos los instrumentos que se usan en este pícaro mundo, ninguno tan pronto a estropearse como el hombre.”

Moby Dick, Herman Melville.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Alcances	2
1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA ZONA EN ESTUDIO	4
1.1 Características generales del medio natural	4
1.2 Características del medio socioeconómico	6
1.3 Sistema de alcantarillado	9
1.4 Plantas de tratamiento existentes	10
2 INGENIERÍA BÁSICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO CHABACANO	11
2.1 Tratamiento preliminar	16
2.1.1 Cárcamo de bombeo de llegada	16
2.1.2 Cribado	18
2.1.3 Canal desarenador	18
2.1.4 Tanque homogenizador	20
2.1.5 Medidor de gasto	20
2.2 Tratamiento primario	21
2.2.1 Reactor anaerobio de flujo ascendente	21
2.3 Tratamiento secundario	25
2.3.1 Reactores aerobios de biomasa suspendida	26
2.3.1.1 Reactores aerobios 1ª & 2ª fases	26
2.3.2 Sedimentador secundario	29
2.3.3 Bombas de recirculación y purga de lodos	29
2.3.4 Desinfección con cloro	30
2.3.5 Desinfección con rayos ultravioleta	30
2.4 Tratamiento de los lodos	30
2.4.1 Digestión	31
2.4.2 Espesamiento	31
2.4.3 Deshidratación	32

2.4.4 Disposición	33
2.5 Línea de conducción a gravedad del efluente a la zona chinampera	34
2.6 Marco Legal	35
2.6.1 NOM-001-SEMARNAT-1996	35
2.6.2 NOM-002-SEMARNAT-1996	38
2.6.3 NOM-003-SEMARNAT-1997	38
2.6.4 NOM-004-SEMARNAT-2002	39
3 DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO CHABACANO	41
3.1 Variación entre el diseño original y lo construido	41
3.2 Administración de la planta la planta de tratamiento	42
3.2.1 Estructura de la organización de la PTAR	43
3.2.2 Personal disponible y aptitud para el trabajo	44
3.3 Seguridad e higiene	44
3.4 Operación	44
3.4.1 Manuales de operación y planos	45
3.4.2 Registros de operación	46
3.5 Estado actual del funcionamiento de las unidades de la planta	46
4 MEDIDAS DE MEJORAMIENTO	56
4.1 Administración de la PTAR Chabacano	56
4.1.1 Preparación del personal de la PTAR Chabacano	57
4.2 Implantación de medidas de seguridad e higiene	58
4.3 Operación	58
4.3.1 Control de proceso del tratamiento del agua residual	58
4.3.2 Implantación de medidas de mantenimiento en la PTAR	61
4.3.3 Realización de planos y obtención de manuales en la PTAR	62
4.3.4 Mejoramiento de los registros en la PTAR	62
4.4 Adecuación de la infraestructura actual	62
4.5 Resultado en la calidad del efluente	69
4.6 Análisis de resultados	75
4.7 Trabajos posteriores y adquisición de equipo de laboratorio	81
5 CONCLUSIONES	88
ANEXO I MANUAL DE LABORATORIO	90
ANEXO II MANUAL DE OPERACIÓN	102
BIBLIOGRAFÍA	105

INTRODUCCIÓN

A principio del siglo pasado Xochimilco se caracterizaba por sus manantiales que abastecían a la población de la Ciudad de México. Sin embargo, debido a la contaminación de los acuíferos y al crecimiento demográfico, actualmente algunos pozos están sobreexplotados y en la zona chinampera ha disminuido el tirante de agua en los canales.

El consumo de agua potable de la Delegación es de aproximadamente 2.1 m³/s y se estima de 1.60 m³/s la descarga de agua residual.

En este contexto, la recarga de los niveles en pozos y en la zona chinampera, además del control de la contaminación del agua, se ha convertido en un asunto prioritario.

Para mitigar el impacto de la sobreexplotación del acuífero y de la descarga de aguas residuales en Xochimilco, una de las acciones principales es la construcción y operación de unidades de tratamiento de agua residual que permitan el reúso del recurso.

La Delegación cuenta con algunas plantas de tratamiento a base de procesos biológicos (anaerobio-aerobios) así como físico químicos, con eficiencias y gastos variables.

Una de dichas plantas es la denominada Chabacano, en operación desde el 2000, que trata 5.5 L/s a nivel secundario; el efluente es vertido a la zona chinampera. Cuando se inició la investigación para el presente trabajo se consideraba que dicha planta operaba con baja eficiencia ya que las características del efluente eran, en apariencia, similares a las del influente.

Para mantener la calidad del agua en la zona turística y canalera en la Delegación Xochimilco sin exceder la capacidad de autodepuración del cuerpo receptor evitando condiciones intolerables, el agua residual tratada debe cumplir con los límites máximos permisibles especificados en las normas oficiales mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997 en lo referente a descarga a cuerpos receptores y contacto ocasional con humanos.

Objetivo general

Describir el proyecto original de la planta Chabacano de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y compararlo con el construido; además, evaluar las condiciones de funcionamiento de la planta y proponer alternativas para resolver los problemas identificados.

Objetivos específicos

- Describir las características generales de la zona de estudio para conocer la problemática del manejo de las aguas residuales.
- Estudiar la distribución y el desempeño de los dispositivos de la planta de tratamiento Chabacano.
- Evaluar el funcionamiento de las operaciones y procesos unitarios de la PTAR y de su organización administrativa.
- Revisar el cumplimiento de la PTAR en cuanto a las normas oficiales mexicanas que regulan lo referente a la calidad del agua tratada.
- Identificar oportunidades para mejorar la calidad del efluente. .
- Discutir los resultados de las adecuaciones en la infraestructura en la calidad del agua tratada.

Alcances

Para cumplir con los objetivos enunciados, el presente trabajo se estructura de la siguiente manera:

En el Capítulo 1, *Antecedentes generales de la zona en estudio*, se describen situación geográfica, medio físico natural, aspectos socioeconómicos, vialidad y transporte, equipamiento y servicios, imagen urbana y por último un recuento de la infraestructura sanitaria de la Delegación Xochimilco: red de atarjeas, red de colectores, plantas de tratamiento y otras obras relacionadas.

Por su parte en el Capítulo 2, *Ingeniería básica de la planta de tratamiento Chabacano*, se explica el proyecto original de las operaciones y procesos unitarios de la planta Chabacano por medio de los cuales se planeó llevar a cabo las diferentes etapas que tienen lugar en el tratamiento de agua residual doméstica.

En el Capítulo 3, *Diagnóstico de las condiciones operativas de la planta de tratamiento Chabacano*, con base en la consulta bibliográfica, en pruebas de laboratorio y en la experiencia del tesista como empleado técnico de la planta, se evalúa la eficiencia de cada proceso y operación unitaria del diagrama de flujo del sistema de tratamiento del agua residual. Los resultados permiten conocer la eficiencia de los dispositivos de tratamiento.

En el Capítulo 4, *Medidas de mejoramiento*, en virtud de que los microorganismos son los que llevan a cabo el proceso de remoción de la materia orgánica, se proponen las acciones para mejorar las condiciones en las que se desarrollan dichos microorganismos, realizando las modificaciones necesarias a la infraestructura y, lo más importante, lograr una concientización para conservar el equipo e instalaciones en condiciones apropiadas para su buen funcionamiento. Se destaca la necesidad de que el personal que participa en la operación de la planta conozca sus funciones y pueda, sobretodo, mantener un proceso estable.

Finalmente, en el *Capítulo 5*, se presentan las *Conclusiones* del trabajo realizado.

ANTECEDENTES GENERALES DE LA ZONA EN ESTUDIO

1.1 Características generales del medio natural

La Delegación Xochimilco se localiza en las coordenadas geográficas: norte 19°19', sur 19°09' de latitud norte; al este 98°58' y al oeste 99°10' de longitud oeste (*figura 1.1*). La altitud de esta demarcación es de 2,240 m sobre el nivel del mar. La superficie de la Delegación es de 12,517 hectáreas que representan el 8.40% del área total del Distrito Federal.



Figura 1.1 Localización y límites de la Delegación Xochimilco

El 30% del terreno de la Delegación, en su parte norte, se localiza dentro de la zona geomorfológica II (de materiales granulares de baja a mediana permeabilidad). Está cubierto por un acuitardo alojado en las grallas lacustres que pueden tener hasta 30 m de

espesor en Xohimilco-Chalco. El 70% restante se ubica en la zona hidrogeológica I, la cual se localiza en las porciones sur y oriente del Distrito Federal formando las sierras Chichinautzin y Santa Catarina, está constituida por rocas basálticas de alta permeabilidad.

En virtud de lo anterior, la cuenca hidrológica de Xochimilco es vital para el equilibrio ecológico de la Ciudad de México así como para la recarga de los acuíferos.

Sus características geológicas más importantes están representadas por las zonas plana o lacustre, de lomas y de transición.

En la zona plana o lacustre predominan sedimentos de tipo arcilloso intercalados con arenas de grano fino; en esta zona se formó el sistema de canales de Xochimilco ubicados en la parte norte de la Delegación, en donde se presentan basaltos fracturados de gran permeabilidad.

La zona de transición está localizada entre las regiones altas y bajas, se compone de grava y arenas gruesas intercaladas con arcillas y pequeñas coladas de basalto (derrames líquidos producidos por erupciones volcánicas).

Por último, en la zona de lomas existen intercalaciones de basaltos, tobas y cenizas volcánicas. Esta zona es muy permeable debido a las fracturas y vesículas que se formaron en estos materiales por el enfriamiento de lava original.

La hidrología de la cuenca de Xochimilco (*figura 1.2*) está condicionada por una red de arroyos de escurrimiento intermitente, la que es determinada por la permeabilidad de los suelos y el fracturamiento de las rocas (basaltos, andesitas y otros materiales volcánicos). El nivel máximo de escurrimiento se alcanza en el vaso lacustre, lugar en el que las aguas son drenadas artificialmente al Lago de Texcoco vía el Canal Nacional, para de ahí ser dirigidas al tajo de Nochistongo y finalmente salir a la cuenca del Pánuco.

Las corrientes que configuran la cuenca de Xochimilco son: los arroyos San Buenaventura, Santiago, San Lucas y San Gregorio, así como numerosas corrientes que bajan a Nativitas, San Luis Tlaxialtemalco y Tulyehualco.

Los arroyos que bajan del Teuhtli se dirigen a los poblados San Gregorio, San Luis Tlaxialtemalco y Tulyehualco, recargando los acuíferos de esta zona.

En cuanto a su régimen pluviométrico mensual oscila alrededor de los 57 mm, acumulando 680 mm en promedio al año. Las corrientes principales circulan por los canales: Chalco, Nacional, Cuemanco, así como los de la chinampería, Santiago Tepalcatlalpan y Presa San Lucas.

Hidrología de la cuenca conformada por escurrimientos intermitentes

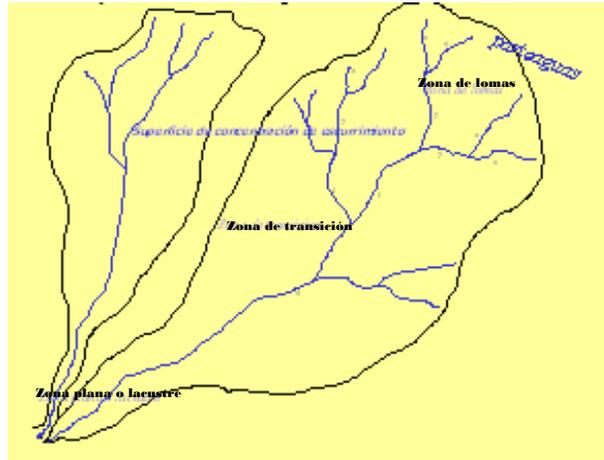


Figura 1.2 Hidrología de la cuenca de Xochimilco

1.2 Características del medio socioeconómico

Xochimilco se deriva del Náhuatl Xóchitl (flor), mili (sementera) y co (locativo): “en el sembradío de flores”; fue el asiento de las siete tribus nahuatlacas procedentes del legendario Chicomoztoc. Al parecer, los Xochimilcas llegaron al Valle de México hacia el 900 y fundaron su ciudad en 919.



Figura 1.3 Glifo de Xochimilco

Xochimilco cuenta con 17 barrios y 14 pueblos, cada uno con su capilla. Además, existen nueve canales: Cuemanco, Aplataco, Cuahutémoc o Nacional, Tezhuilo, Apampilco o del Japón, Oxtotenco o La Noria, Amelaco y Atlitic; siete lagunas importantes: el Toro, la Virgen, Tlílac, Tlicutlli, Tezhuítzotl, Caltongo y Xaltocan.

Xochimilco ha sido históricamente un centro de actividad agrícola, dedicado principalmente al cultivo de legumbres y flores mediante el sistema de chinampas, legado indígena del imperio mexica. Las chinampas son “el último vestigio viviente de lo que fue el Valle de Anáhuac”. Sin embargo, de 400 kilómetros cuadrados originales hace más de 400 años, las chinampas se han reducido a 25 kilómetros cuadrados ubicadas precisamente en Xochimilco, donde cientos de familias cultivan productos agrícolas que abastecen al Distrito Federal.

El territorio de Xochimilco en los últimos diez años ha presentado una dinámica de crecimiento y aumento de población que la ha distinguido de las otras delegaciones. Sobre todo considerando que este crecimiento se ha dado en su gran mayoría mediante la ocupación de tierras con vocación agrícola y ecológica.

En 1996 la población económicamente activa de la Delegación era de 91,005 habitantes, de la cual 88 830 estaba ocupada (97.6%) y 2,175 (2.4%) estaba desocupada. La población económicamente inactiva la constituían 102,011 habitantes; de ésta los porcentajes más altos los constituyen las personas dedicadas al hogar (47%) y los estudiantes (42%).

En cuanto a ingreso se presenta la siguiente característica: la población que gana menos de tres salarios es mayor con respecto al promedio del Distrito Federal mientras la que percibe más de tres salarios mínimos es mucho menor en la Delegación que en el Distrito Federal. Se puede concluir que no existe una polaridad marcada entre los niveles bajos y elevados de ingreso como sucede en otras delegaciones.

La actividad más representativa es el sector comercio con 5,882 unidades económicas censadas, seguido por el sector servicios con 2,234 y en tercer lugar las manufacturas con 496 unidades. El sector que ocupa más personal es el comercio con 35,791 empleados, continuando con el sector manufacturero con 22,966 trabajadores y por último servicios con 19,336 personas.

Las principales vialidades que comunican la Delegación con el resto de la Ciudad son:

- 1 Av. Prolongación División del Norte, que cruza transversalmente la Delegación desde su cruce con Periférico Sur y hasta el poblado de Tulyehualco y que interconecta a los poblados del sur de la zona chinampera.
- 2 Camino a Oaxtepec, que es la carretera libre que conecta con Milpa Alta y el estado de Morelos, esta carretera es una vía principalmente de paso de vehículos hacia el Distrito Federal y produce fuertes problemas de congestión a la Delegación que se agravan en el poblado de San Gregorio.
- 3 Periférico Sur, éste fue construido como parte del Rescate Ecológico de Xochimilco y da continuidad a los flujos de la zona sur del Distrito Federal.

Por ser Xochimilco una delegación que conserva poblados rurales, así como por sus canales y chinampas que la hacen sumamente atractiva, provoca gran afluencia de turismo los fines de semana.

Se observan corredores comerciales, tanto de establecimientos formales como del mercado informal a lo largo de calles, avenidas principales, y arterias del Centro Histórico.

Xochimilco se destaca por contar con mercados de plantas y flores, los cuales le han dado gran impulso comercial y turístico a la Delegación. También hay importantes mercados de verduras y comida en la cabecera principal saturándose los domingos y días

festivos por la gran concurrencia de visitantes de la propia delegación y de otras delegaciones circunvecinas.

Esta delegación cuenta con instalaciones educativas que dan atención a la población de la misma entidad o de las delegaciones vecinas, o incluso tienen cobertura metropolitana como es el caso de la Escuela Nacional de Artes Plásticas, la Preparatoria número 1 de la UNAM y la UAM Xochimilco, entre otras.

Para el desarrollo de actividades recreativas y culturales, en Xochimilco funcionan 12 centros sociales y culturales, y 19 centros comunitarios en los que se imparten talleres de capacitación para el trabajo en apoyo a la economía doméstica de los habitantes.

Para el acondicionamiento físico existen 32 deportivos distribuidos en un Centro Deportivo, el Deportivo Ecológico de Cuemanco, 6 deportivos populares, 6 deportivos comunitarios y 18 módulos deportivos.

La red de abasto de la Delegación se compone de 11 mercados públicos, 2 mercados de plantas, flores y hortalizas, 25 tianguis, y se complementa con aproximadamente 4,487 establecimientos mercantiles que funcionan en su demarcación.

Respecto a lo servicios de salud, el ISSSTE tiene instalada una unidad médica y el Sector Salud y el Departamento del Distrito Federal 19, incluyendo el Hospital Pediátrico Infantil.

En cuanto al transporte, su cobertura es del 80%, quedando sin servicio algunas colonias al oriente de la Delegación; el servicio está cubierto por el sistema de transporte colectivo.

Las condiciones de relieve sur no permiten proporcionar un servicio regular de transportes públicos de gran capacidad. La delegación Xochimilco cuenta con 27 paraderos de transporte público y cinco estaciones de tren ligero; se presta el servicio de microbuses, camiones y taxis. Es importante considerar que la mayoría de la población se desplaza utilizando autobuses.

Está pavimentada la mayor parte de las zonas urbanas en barrios y pueblos, así como carreteras y vialidades que las unen; sin embargo, existen lugares dentro de esta misma zona que por desbordamiento de la propia población ha originado asentamientos irregulares que no tienen calles pavimentadas.

En agua potable la Delegación de Xochimilco tiene una cobertura del 93%. Su abastecimiento proviene de pozos profundos ubicados al oriente, en la parte plana de la Delegación y a lo largo de la nueva carretera México- Tulyehualco. Existen plantas de bombeo que abastecen a los tanques de almacenamiento y redes para hacer llegar el líquido

hasta los usuarios. Sin embargo, se ha detectado que los principales problemas para el suministro se presentan en las partes altas de la montaña y en la colindancia con la Delegación Tlahuac. La principal problemática en el suministro del agua se encuentra en la sobreexplotación del manto acuífero existente en la Delegación.

Con respecto a la energía eléctrica y alumbrado se cubre, en un 90% el área urbana y en un 86.9% en los poblados rurales ya consolidados; sin embargo, en algunos asentamientos se carece de estos servicios debido a su irregularidad y por la dispersión, factores que hacen incoosteable introducir estos servicios.

La imagen urbana de Xochimilco se caracteriza fundamentalmente por edificaciones destinadas a vivienda unifamiliar y comercio básico con alturas no mayores a 3 niveles.

1.3 Sistema de alcantarillado

La Delegación Xochimilco cuenta con un nivel de cobertura en infraestructura de alcantarillado del 90 por ciento. El sistema está integrado por dos tipos de colectores: uno combinado y otro separado que conduce el agua pluvial hacia los canales de la zona chinampera de los pueblos de Santa María Nativitas, San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemalco; también existe un sistema de colectores marginales en los pueblos de la montaña para evitar la contaminación del acuífero. El *cuadro 1.1* presenta un resumen de información sobre el sistema de alcantarillado.

Cuadro 1.1 Resumen de la infraestructura para el manejo de aguas residuales y pluviales

Descripción	Cantidad	Unidad
Red de atarjeas (diámetros menores a 61 cm)	433.7	km
Red de colectores (diámetros iguales o mayores a 61 cm, y menores a 315 cm)	70.1	km
Planta de bombeo	10	Planta
Lagunas de regulación	2	Laguna
Presas	1	Presa
Estaciones pluviográficas	3	Estación

1.4 Plantas de tratamiento existentes

La Delegación Xochimilco utiliza el agua tratada para el riego de sus áreas verdes así como para el llenado de canales y lagos recreativos manteniendo los niveles constantes de los mismos y para abastecer a un distrito de riego localizado al sur de Canal Nacional - Canal de Chalco. Para esto la Delegación cuenta con plantas de tratamiento y una red de conducción y distribución de 24,950 m de longitud con diámetros variables. (*Cuadro 1.2*).

Cuadro 1.2 Plantas de tratamiento

Nombre	Ubicación		Capacidad (l/s)		Tipo de tratamiento	Recibe agua de:	Uso del agua producida
	Calle	Colonia	Instalada	Operación			
San Luis Tlaxialtemalco	Av. 5 de Mayo frente a los viveros de San Luis	San Luis Tlaxialtemalco	150	110	Terciario	Colector Madrina	Llenado de los canales para mantener el nivel de los canales de la zona turística chinampera
Reclusorio Sur	Reclusorio Sur	Reclusorio Sur	20	13	Secundario	Aguas Residuales del mismo reclusorio	Riego del Deportivo Xochimilco, Deportivo Cruz Azul
San Lucas	Capulines Esq. Antiguo camino a San Mateo	San Lucas Xochimanca	5.5	5.5	Secundario	Una parte del Pueblo San Lucas Xochimanca	Riego de áreas verdes
Bosque de Nativitas	Carretera a Tulyehualco Esq. Carr. a Santa Cecilia Tepetlapa	Santa María Nativitas	5.5	5.5	Secundario	Una parte de Santa María Nativitas	Riego del Bosque de Nativitas
Chabacano	Ignacio Zaragoza Esq. Chabacano Santa Cruz Acalpíxca	Santa Cruz Acalpíxca	5.5	5.5	Secundario	A la Unidad habitacional	Es vertida al canal sobre Nuevo León y para riego.
Museo Santa Cruz	Carr. México-Tulyehualco s/n	Santa Cruz Acalpíxca	5.5	5.5	Secundario	Una parte de Santa Acalpíxaca	Riego de áreas verdes.
Barrio Caltongo	Prim. "Calpulli Caltongo" calle Roble	Barrio Caltongo	0.25	0.25	Secundario	Primaria "Calpulli Caltongo"	Riego de áreas verdes
Pueblo San Andrés Ahuayucan	Esc. Prim. "Agustín Banda Sevilla" Carr. San Pablo	Pueblo San Andrés Ahuayucan	0.25	0.25	Secundario	Esc. Primaria "Agustín Banda Sevilla"	Riego de áreas verdes
Pueblo San Andrés Ahuayucan	Sec. Tec. Calle Prol. Vicente Guerrero s/n.	Pueblo San Andrés Ahuayucan	0.25	0.25	Secundario	Secundaria Técnica	Riego de áreas verdes
Barrio San Diego	Callejón 7 Vueltas ubicada en la parte de la laguna del barrio	Barrio San Diego	0.25	0.25	Secundario	Callejón 7 Vueltas	Riego de áreas verdes

**CAPÍTULO
II**

INGENIERÍA BÁSICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La planta de tratamiento Chabacano se construyó en el 2000 conforme al arreglo general mostrado en la *Figura 2.1* (Véase también *Figura 2.2* y *Cuadro 2.1*).

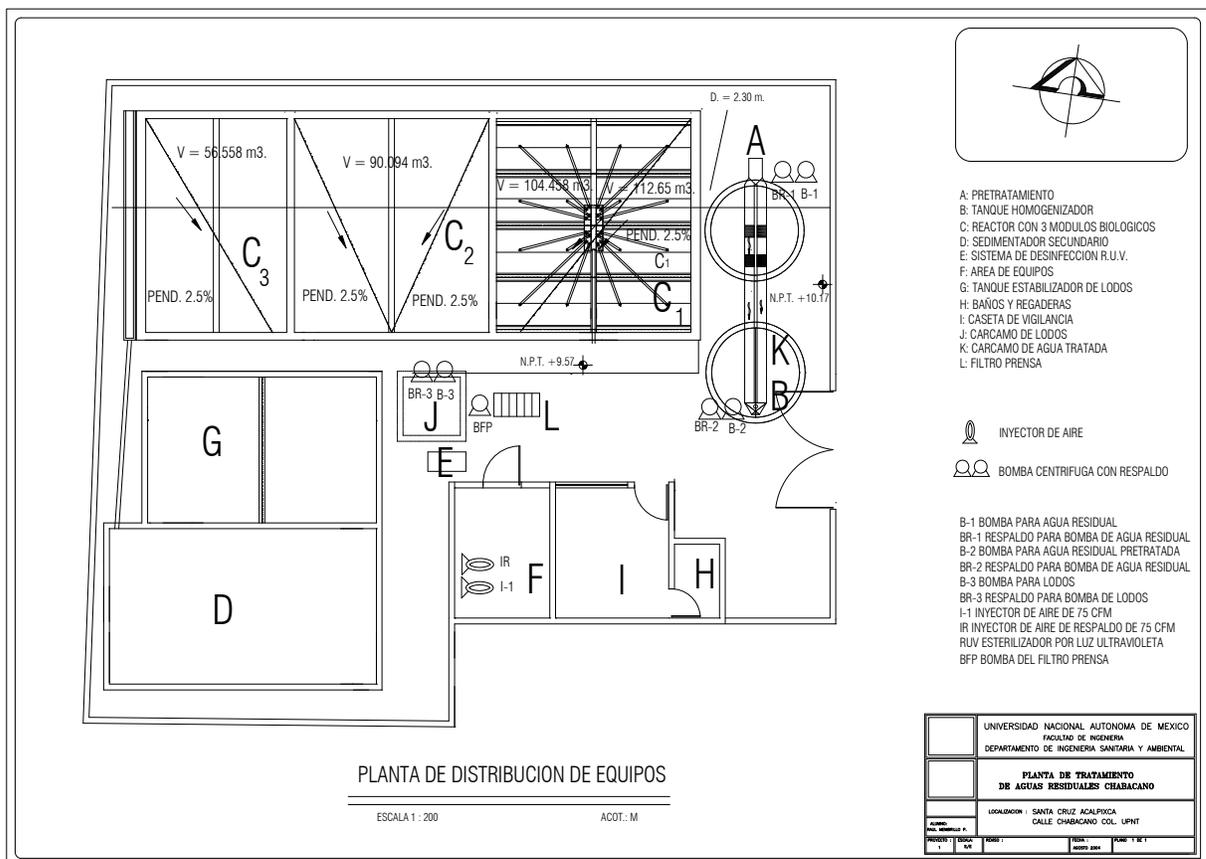


Figura 2.1 Arreglo general de la planta de tratamiento

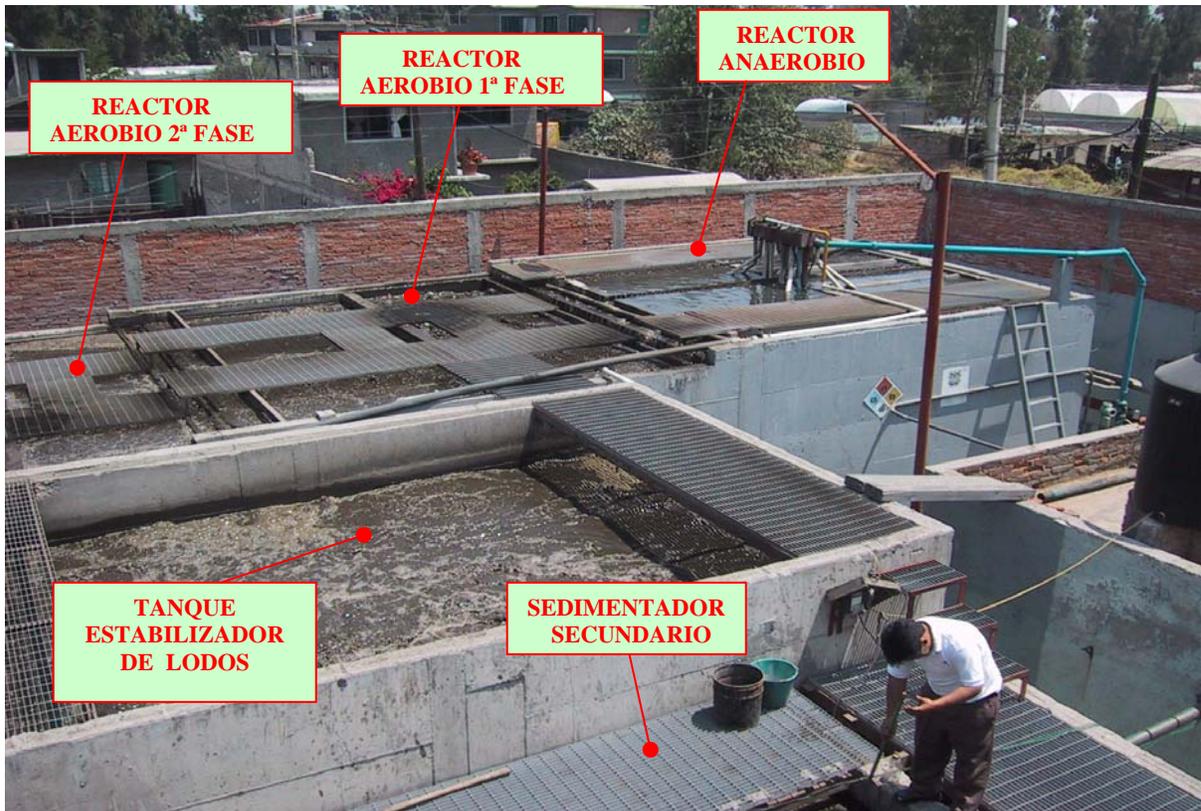


Figura 2.2 Planta de tratamiento Chabacano

Cuadro 2.1 Datos de la planta de tratamiento de aguas residuales Chabacano

Datos Generales	
Población beneficiada	= 2100 hab
Gasto de influente	= 2.5 l/s
Gasto de efluente	= 2.5 l/s
Agua tratada por día	= 216 000 l = 216 m ³
Agua tratada por mes	= 6 480 000 l = 6 480 m ³
Agua tratada por año	= 77 760 000 lt = 77 760 m ³

El agua residual a tratar proviene de la Unidad Habitacional Nueva Tenochtitlán a través de un colector de 30 cm de diámetro y 1500 m de longitud, el cual recibe también aportaciones de calles aledañas (*Figura 2.3*).



Figura 2.3 Unidad Habitacional Nueva Tenochtitlán

El agua residual es de tipo doméstica, contiene desechos humanos y animales, así como basura, papel y otros residuos de las actividades cotidianas.

El *Cuadro 2.2* muestra los contaminantes principales que pueden estar presentes en las aguas residuales, así como su importancia ambiental.

Cuadro 2.2 Contaminantes principales que pueden estar presentes en las aguas residuales

Contaminante	Fuente	Importancia Ambiental
Sólidos suspendidos	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables	Desechos domésticos	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos	Desechos domésticos	condiciones indeseables. Causan enfermedades transmisibles.
Nutrientes	Desechos domésticos e industriales	Pueden causar eutroficación.
Compuestos orgánicos	Desechos industriales	Pueden provocar problemas de sabor y olor, pueden ser tóxicos y carcinogénicos.
Metales pesados	Desechos industriales, minería, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con tratamiento y reuso del efluente.
Sólidos inorgánicos disueltos	Debido al uso doméstico e industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua	Pueden interferir con el reuso del efluente

Fuente: Enrique César Valdez. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales

El plano siguiente muestra el perfil de la planta de tratamiento en sus condiciones existentes (*Figura 2.4*). Posteriormente se le realizarán las modificaciones necesarias que se requieran en los procesos para aumentar la eficiencia de remoción de materia orgánica.

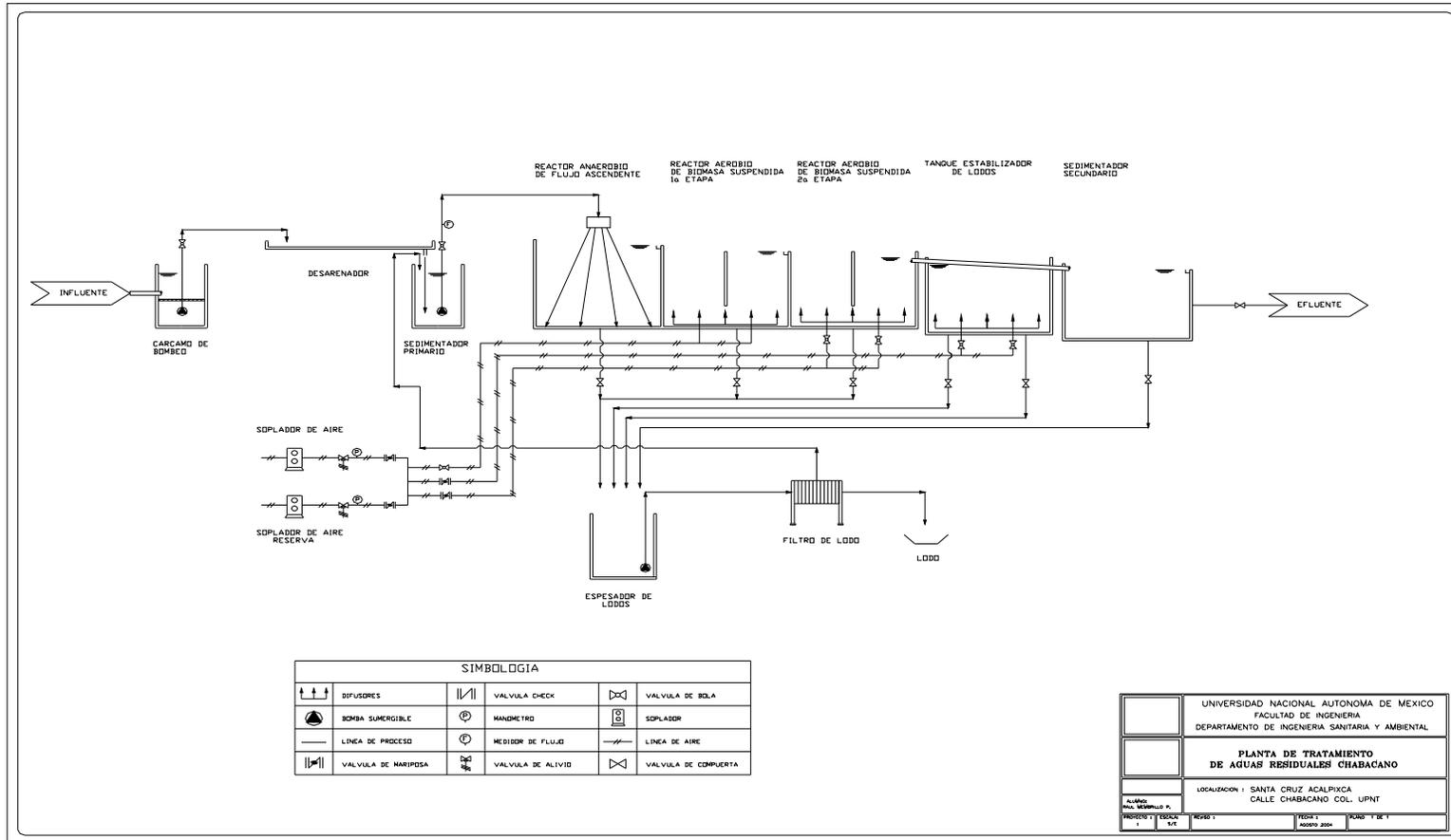


Figura 2.4 Tren de tratamiento de proyecto

2.1 Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar sirve para proteger al equipo de bombeo y otros equipos electromecánicos del desgaste y atascamiento con sólidos de gran tamaño.

Los elementos del subsistema de tratamiento preliminar de la planta de tratamiento Chabacano son:

1. Cárcamo de bombeo de llegada
2. Cribado
3. Canal desarenador
4. Tanque homogenizador
5. Medidor de gasto

2.1.1 Cárcamo de bombeo de llegada

Las aguas residuales llegan por gravedad conducidas por el colector al cárcamo de bombeo, que es un tanque de sección circular con una profundidad de 6.21 m y 2.65 m de diámetro con un volumen de 34.25 m³, localizado por debajo del nivel del terreno natural, y sirve para concentrar las aguas residuales a tratar (*Figura 2.5*).

De este cárcamo se hacen pasar las aguas residuales con un caudal constante a través de un arreglo en la tubería que controla el gasto de la bomba de 5.5 l/s, mandando 2.5 l/s a través del desarenador y devolviendo 2.5 l/s al cárcamo de bombeo. La bomba sumergible empleada es de 2 HP, 4.50 kW, 3 fases, amperaje máximo 6Ω, 1750 r.p.m, 220 volts, Ø 3” y con un gasto de 5.5 litros por segundo (*Figura 2.6*).

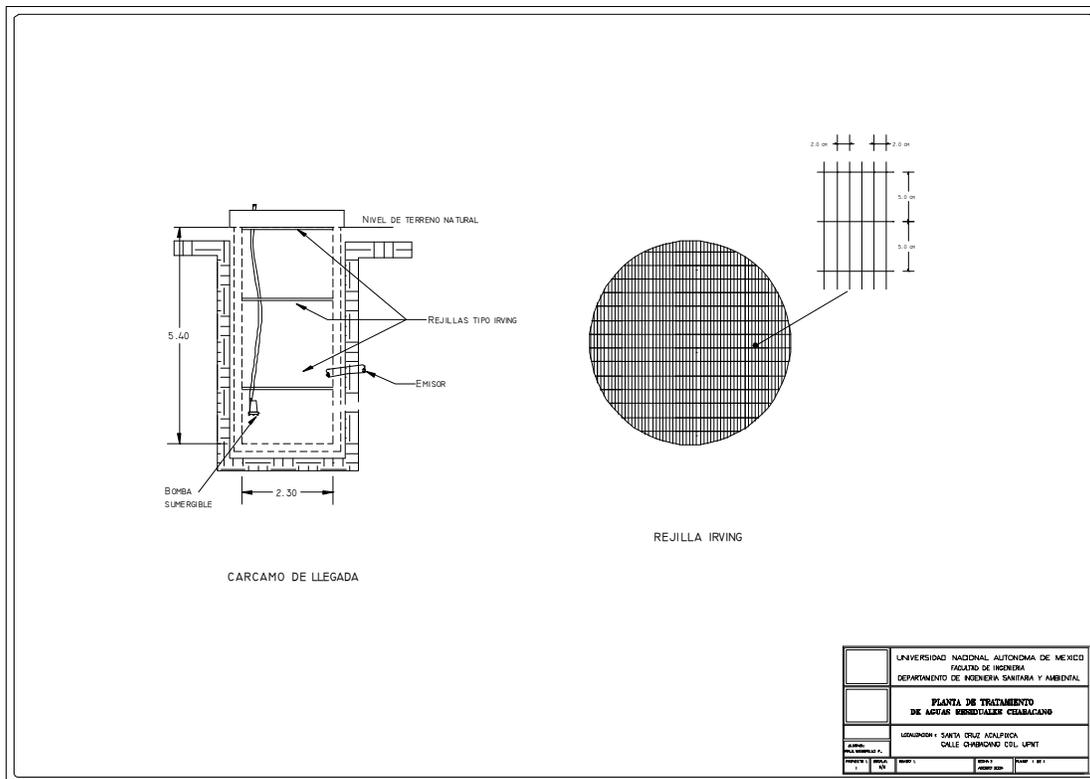


Figura 2.5 Cárcamo de llegada y detalle de la rejilla



Figura 2.6 Bomba sumergible

2.1.2 Cribado

El cribado se realiza mediante una rejilla tipo Irving dentro de un anillo colocado transversalmente en el interior del cárcamo de llegada (*Figura 2.5*). Son móviles y de limpieza manual. Las separaciones de las barras son de 3 cm con claros de 15 cm. El propósito es proteger las bombas, conductos y válvulas reteniendo objetos grandes para evitar el atascamiento. El cribado funciona como sigue: el colector descarga en el cárcamo de llegada por el fondo a un nivel superior al de la rejilla, la cual retiene los sólidos grandes, mientras el agua pasa hasta el fondo del tanque donde se bombea empleando un equipo sumergible. Los plásticos, cáscaras y otros objetos de baja densidad flotan hacia la superficie, donde son retirados periódicamente.

2.1.3 Canal desarenador

El desarenador se ubica después del cárcamo de bombeo y las rejillas (*Figura 2.7 a y Figura 2.7 b*). El propósito es eliminar las arenas con un tamaño de al menos 0.2 mm y densidad relativa de 2.65 del material orgánico susceptible de putrefacción; dichas arenas son arrastradas por las aguas residuales por lo que es necesario removerlas para evitar su depósito de arena en los tanques de aireación, obstrucción de tuberías, desgaste de bombas, etc. Para asegurar la sedimentación de las partículas, la velocidad del agua a su paso por el desarenador es regulada a una velocidad media de 0.25 a 0.30 m/s por medio de un canal Parshall localizado en el extremo de salida del desarenador. El tiempo de retención se basa en el tamaño de partículas que deben separarse y generalmente varía de 20 segundos a un minuto.

Como la limpieza se hace manualmente, el desarenador está provisto de espacios en el fondo de sus canales para el almacenamiento de las arenas sedimentadas. El desarenador está dividido en dos canales, la capacidad de cada uno a gasto máximo es de 2.5 litros por segundo.

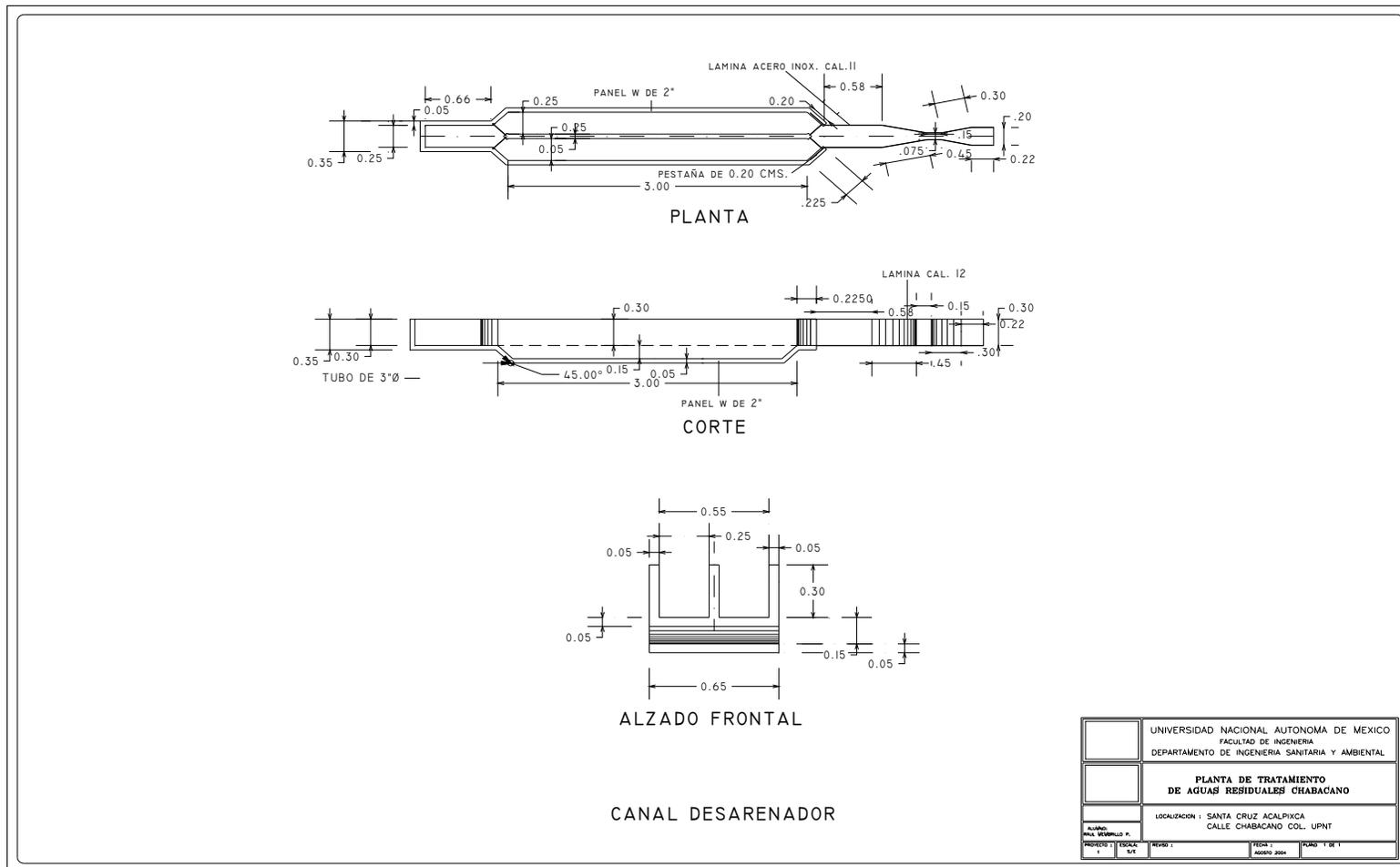


Figura 2.7 a Vistas del canal desarenador

2.1.4 Tanque homogenizador

Después de las rejillas y del desarenador el agua residual pasa al tanque homogenizador con una profundidad de 5.40 m y 2.30 m de diámetro que la colecta y almacena; de aquí se bombea con un gasto constante de 2.5 l/s (de la misma manera que se hace para enviarla a través del desarenador) hacia el primer tanque de proceso, que es el reactor anaerobio de flujo ascendente. Se proporciona aireación para propiciar el mezclado. La agitación de las aguas residuales en presencia de aire tiende a aglomerar o flocular los sólidos suspendidos más ligeros, formándose masas más pesadas que se asientan rápidamente en el reactor anaerobio. Por la adición de aire, se restauran también las condiciones aerobias en las aguas residuales sépticas, favoreciendo el tratamiento subsiguiente. Los dispositivos y el equipo que se usan para introducir aire a las aguas residuales son los del mismo tipo, o similar a los que se usa en el proceso de lodos activados. Las características del tanque homogenizador son similares a las del cárcamo de bombeo de llegada (*Figura 2.7 b*).

2.1.5 Medidor de gasto

El dispositivo de medición de gasto es esencial para la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales Chabacano. Como el gasto que se maneja es pequeño se utiliza un medidor electrónico marca ENDRESS+HAUSER Promag F (*Figura 2.8*).



Figura 2.8 Medidor de flujo electromagnético

2.2 Tratamiento primario

Por este tratamiento se elimina la mayoría de los sólidos suspendidos y disueltos en las aguas residuales, que son principalmente orgánicos, por los gránulos o “pellets”, con tamaños entre 1 y 3 mm de diámetro. La DBO debe disminuir en un 70 a 80 por ciento. Estos sólidos orgánicos se fermentan dentro del reactor (lo cual se conoce como digestión de los lodos), produciendo metano y otros desechos, los cuales escapan al ambiente.

El elemento principal del subsistema de tratamiento primario de la planta de tratamiento Chabacano es: el reactor anaerobio de flujo ascendente.

2.2.1 Reactor anaerobio de flujo ascendente

El reactor anaerobio de flujo ascendente tiene la ventaja de introducir los sólidos por el fondo, donde son deseables, en lugar de irse depositando desde capas superiores. Las dimensiones de este reactor anaerobio son: ancho de 5.50m, largo de 5.10 m y 4.10 m de una altura de 4.10 m. Restando el bordo libre a la altura se tiene 109 m³ de volumen efectivo.

La caja distribuidora junto con las mamparas profundas están diseñadas para dispersar la corriente de alimentación, y difundir homogéneamente el flujo por todo el tanque evitando los puntos sin recirculación (Figuras 2.9 a 2.12)

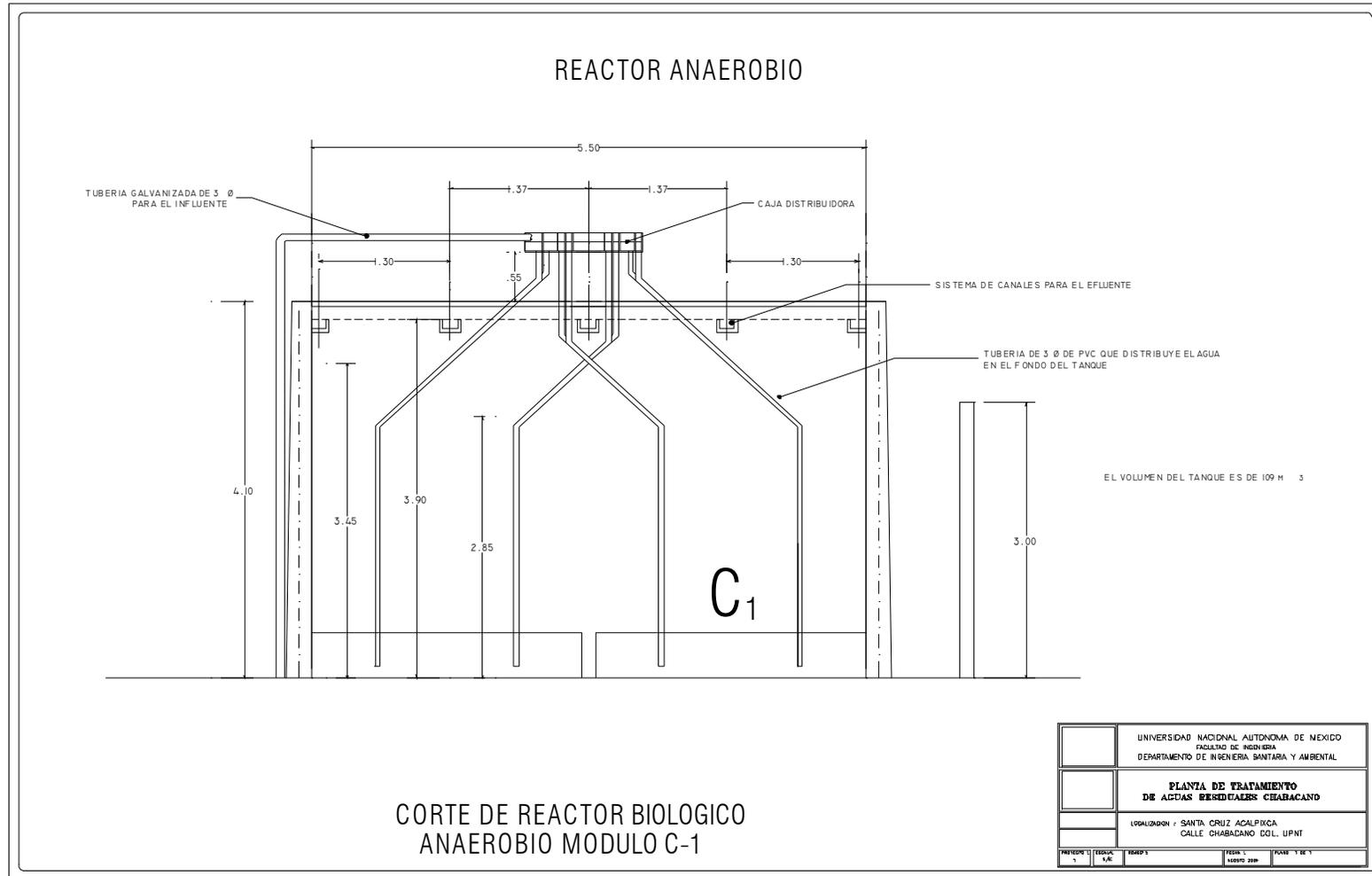


Figura 2.9 Reactor anaerobio con caja distribuidora y su tubería de PVC para el flujo ascendente

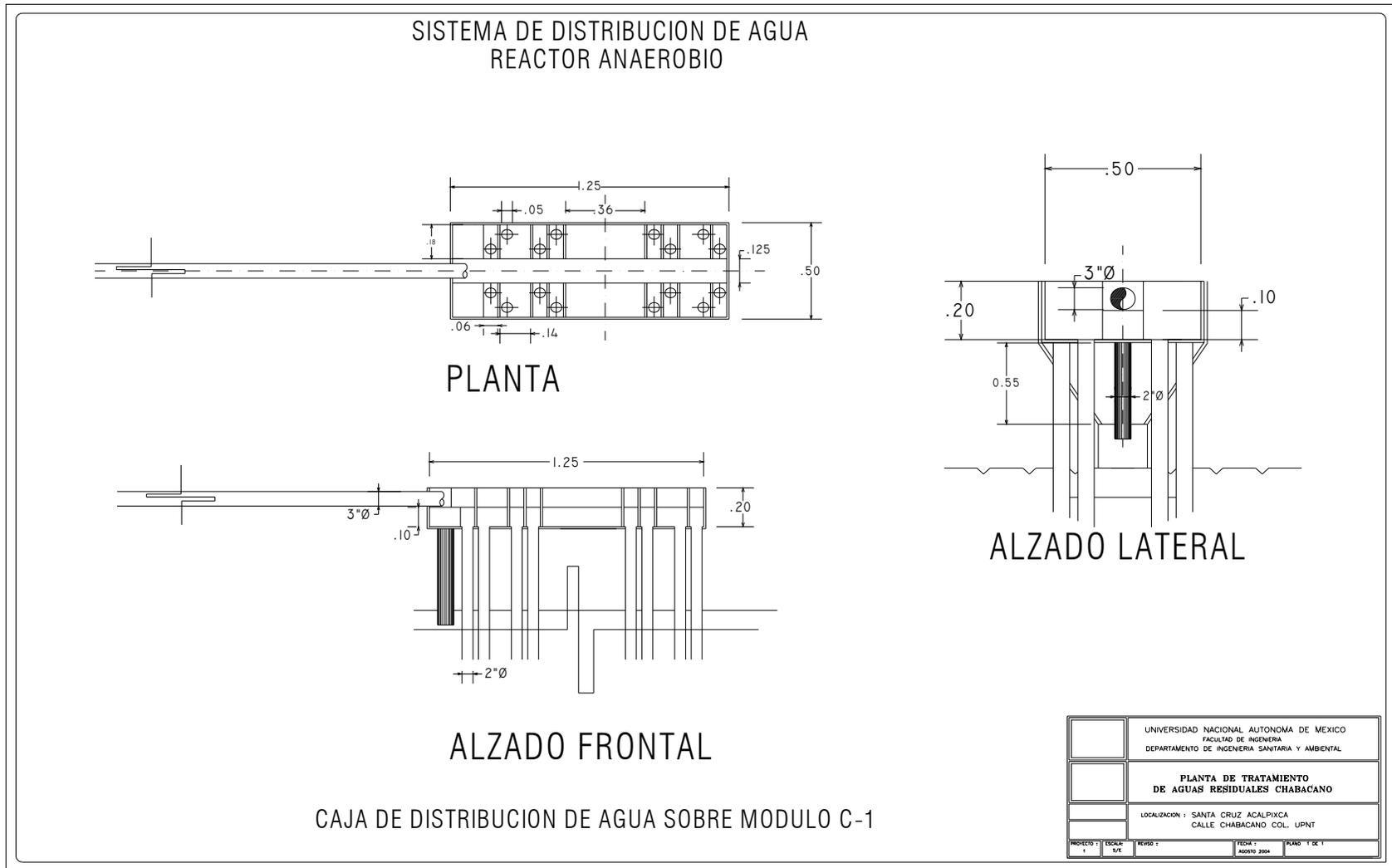


Figura 2.10 Caja distribuidora del reactor anaerobio de la planta Chabacano



Figura 2.12 Vertedores para el efluente del reactor anaerobio

2.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es un proceso biológico y depende principalmente de los organismos aerobios para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o en sólidos orgánicos estables. Debido a que el agua contiene diversas sustancias orgánicas, para llevar a cabo el tratamiento se requieren diversos tipos de microorganismos, esto es, un cultivo mezclado. Cada tipo de microorganismo presente en el cultivo mezclado utiliza la fuente de alimento más adecuada a su metabolismo. Las dos reacciones que conforman el proceso metabólico se conocen como reacciones catabólicas y reacciones anabólicas.

El tratamiento terciario está previsto ante todo para la eliminación de contaminantes no removidos por un tratamiento biológico convencional. Y se puede esperar para la planta una eficiencia global de 80 a 95 por ciento medida en el abatimiento de la DBO.

Los elementos del subsistema de tratamiento secundario de la planta de tratamiento Chabacano son:

1. Reactores aerobios
2. Sedimentador secundario
3. Cloración
4. Tratamiento de lodos

2.3.1 Reactores aerobios de biomasa suspendida

Se logra la proliferación de las bacterias aerobias mediante la oxigenación forzada en el reactor aerobio, las cuales al buscar su alimento formarán flóculos orgánicos (lodos activados) que al aumentar de peso se sedimentarán fácilmente en el sedimentador secundario. De ahí una parte se regresa a la 1ª etapa, con objeto de activar (mantener) una población bacteriana en los nuevos volúmenes por tratar, esto en virtud de que los flóculos frescos o lodos activados generados espontáneamente, durante el paso de las aguas residuales a través de las unidades de aireación, no son generalmente lo suficientemente grandes en volumen para que exista una transferencia considerable de las impurezas del líquido a la fase sólida; debido a esto y para alcanzar las concentraciones necesarias de microorganismos y las intensidades de exposición, se bombean lodos previamente formados como lodos recirculados.

Este es un proceso acumulativo por el que eventualmente se producirá mayor cantidad de lodos de los que se requieren. Y una vez que se alcanza un estado estable, una parte de los lodos se desecha en vez de recircularlos.

Para plantas que operan con aire difundido la concentración de sólidos en el licor mezclado es de 1000 a 2500 ppm de SSV. La concentración óptima debe determinarse por tanteos y debe mantenerse cuidadosamente controlando la proporción de lodos recirculados.

El proceso de lodos activados consta de las siguientes etapas:

- 1) Mezclado de los lodos activados con las aguas residuales que se van a tratar; la combinación resultante se denomina licor mezclado.
- 2) Aireación y agitación de este licor mezclado durante el tiempo que sea necesario.
- 3) Separación de los lodos activados, del licor mezclado.
- 4) Recirculación de la cantidad adecuada de lodos activados, para mezclarlos con las aguas residuales.
- 5) Disposición del exceso de lodos activados.

2.3.1.1 Reactores aerobios 1ª & 2ª fases

Los reactores son de volúmenes adecuados para proporcionar periodos de permanencia adecuados relativamente largos, generalmente de 4.5 a 6 horas para aguas residuales domésticas. (*Cuadro 2.3*)

En estos reactores el oxígeno se provee por medio de tuberías con aire a presión; en la tubería se acoplan difusores, cuyo número depende del volumen de aguas residuales y de la cantidad de materia orgánica que contiene; el balance de oxígeno se mide en laboratorio determinándose la cantidad de aire mínima por mantener en el tanque y esto a su vez determina la cantidad de difusores que se requieren para un constante burbujeo ocasionando que el agua tenga movimiento en todos los sentidos (*Figura 2.13*).



Figura 2.13 Reactor aerobio

Las funciones de la aireación son:

1. Proporcionar el oxígeno requerido por el metabolismo de los microorganismos.
2. Propicia la circulación y la agitación necesaria para prevenir la sedimentación de sólidos, y mantener los microorganismos del lodo en un contacto íntimo con la materia orgánica disuelta y suspendida.
3. Libera del agua productos de desecho, producidos por el metabolismo de los microorganismos, como lo sería el CO_2 .

Cuadro 2.3 Dimensiones de los reactores aerobios

Reactor aerobio 1 $l=5.10$ m; $a= 5.50$ m; $h=3.90$ m; $BL= 0.20$ m; $\text{vol}= 104$ m³*

Reactor aerobio 2 $l=3.70$ m; $a= 5.50$ m; $h=3.70$ m; $BL= 0.20$ m; $\text{vol} = 71.0$ m³*

*volumen real descontando el bordo libre

Difusores y sopladores. Los difusores son artefactos que introducen aire dentro de los líquidos; hay muchos tipos pero en general en todos ellos se busca que el aire salga en burbujas de volumen lo más pequeño posible ya que de esta manera el aire en su recorrido ascendente tendrá mayor área de contacto con el agua y con las bacterias aerobias. La fuente de aire son los sopladores o inyectoros que operan a una presión suficiente para vencer la carga hidráulica sobre los difusores, aunados a las pérdidas. A fin de impedir que se obstruyan los difusores, se filtra el aire con que se alimentan, para quitarle el polvo u otras impurezas (Figura 2.14).

La medición de estos equipos de aireación se realiza en función de la tasa de transferencia de oxígeno al agua residual la cual esta bien correlacionada con la energía disipada por el aerador, expresándose en kg de O₂/ kW-hr ó lb de O₂/hp-hr.

Las principales variables de diseño de los reactores de lodos activados son :

- ✓ Tasa de carga volumétrica VL: es la masa de DBO en el influente dividida entre en el volumen del reactor.

$$(Q \cdot S_o) / V \quad [\text{kg DBO} / \text{m}^3 \cdot \text{d}]$$

- ✓ Relación sustrato / biomasa: es un indicador de la carga orgánica con respecto a la cantidad de sólidos biológicos que hay en el tanque, es decir , es la masa eliminada de DBO dividida entre la biomasa en el reactor.

$$(Q \cdot S_o) / (V \cdot X_r) \quad [\text{kg DBO} / \text{kg SSV} \cdot \text{d}]$$

- ✓ Tiempo de residencia celular (edad de lodos): es el tiempo de retención de los lodos.

$$(V \cdot X_r) / \{(Q_p \cdot X_p) + (Q \cdot X)\} \quad [\text{d}]$$

Donde S_o es la concentración del sustrato expresada como DQO o DBO₅, Q es el gasto, V es el volumen del reactor, X_r la concentración de biomasa en el reactor expresada como sólidos suspendidos volátiles SSV, Q_p (gasto de purga) y X_p (concentración en la purga) están relacionados con la línea de purga y X es la concentración de biomasa evacuada en el efluente.



Figura 2.14 Soplador de lóbulo rotativo

2.3.2 Sedimentador secundario

Antes de que pueda disponerse de las aguas residuales tratadas descargándolas en la zona canalera, se separan los lodos activados en el sedimentador secundario. Así debe existir una mampara profunda para difundir el flujo y llevar los lodos al fondo que vienen de la 2ª etapa, este lodo y su carga de vida microscópica se posa rápidamente y arrastra consigo todos los sólidos en suspensión y gran parte de los que se hallan en estado coloidal.

2.3.3 Bombas de recirculación y purga de lodos

La cantidad de lodos devueltos a los reactores aerobios ha de ser suficiente para producir la disminución de la DBO deseada. De esta manera se alcanza una concentración de SSV (sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado de 1000 a 2500 ppm. Si se deja que se acumulen los sólidos, los requerimientos de aire y alimentos excederán a los disponibles y se desequilibrará la operación. El exceso de lodos debe pasarse al digestor de lodos directamente o a través del espesador.

2.3.4 Desinfección con cloro

Cuando los efluentes de tratamiento se descargan a la zona canalera se requiere un proceso para destruir los organismos patógenos, para minimizar los peligros a la salud. Tal proceso se le conoce como desinfección.

Para lograr la desinfección, debe agregarse el cloro necesario para satisfacer la demanda de cloro y dejar cloro residual que destruya las bacterias. Así la desinfección es la adición de cloro suficiente para dejar 0.5 ppm de cloro residual a los 15 minutos de su aplicación.

El punto de aplicación del cloro mediante un dosificador, es el tanque de contacto de cloro donde se realiza la mezcla y donde permanece un mínimo de 15 minutos antes de descargarse al cuerpo receptor.

2.3.5 Desinfección con rayos ultravioleta

La lámpara de UV presentan la ventaja de que el 85 % de la luz emitida es monocromática, con una longitud de onda de 253.7 nm, valor que se halla dentro del intervalo óptimo para la obtención de efectos germicidas (250-270 nm). En la aplicación práctica las lámparas pueden estar suspendidas fuera del líquido o sumergidas en él. En el caso de tratarse de lámparas sumergidas, se recubren con tubos de cuarzo.

La radiación ultravioleta penetra la pared celular de los organismos y es absorbida por los materiales celulares, lo cual puede impedir la reproducción o producir directamente la muerte de la célula. Debido a que solo son efectivos los rayos ultravioleta que alcanzan a las bacterias, es conveniente que el agua este libre de turbiedad.

Para limitar la profundidad de líquido a que deben penetrar los rayos UV se construyen con una matriz de lámparas a través de las cuales se hace circular el agua tratada.

2.4 Tratamiento de los lodos

Los lodos de las aguas residuales son una mezcla de aguas residuales y sólidos sedimentados. Como con la porción líquida los lodos deben someterse a algún tratamiento que sea capaz de modificar sus características para que puedan disponerse adecuadamente. Este tratamiento tiene dos propósitos: eliminar parcial o totalmente el agua que contienen los lodos para disminuir su volumen y descomponer los sólidos orgánicos putrescibles transformándolos en sólidos minerales o sólidos orgánicos relativamente estables.

Se considera como tratamiento de los lodos a aquellos procesos que se emplean en una planta hasta la disposición final de los productos de tratamiento.

Cuadro 2.4 Dimensiones del digester aerobio

Digester aerobio $l=3.75$ m; $a= 6.00$ m; $h= 4.00$ m; $BL= 1.00$ m; $vol= 67.5$ m ³ *

2.4.1 Digestión

El propósito de la digestión es lograr los dos objetivos del tratamiento de los lodos. La digestión o estabilización se lleva a cabo en el digester aerobio, esto es, en presencia de oxígeno.

La digestión aerobia se produce aireando los lodos biológicos en un tanque abierto parecido a un tanque de aireación de lodos activados, tal que sea suficiente para acelerar la vida de las bacterias obligando a su metabolismo a madurar y envejecerlas a fin de que mueran en este proceso. Al final el resultado es un lodo biológicamente estable y adecuado para su disposición en el ambiente.

2.4.2 Espesamiento (Cárcamo de lodos o espesador)

Este proceso consiste en concentrar los lodos diluidos para hacerlos más densos. Por este método se pueden tener unos lodos más concentrados, lográndose otro de los objetivos del tratamiento. Se trata de un proceso de sedimentación a gravedad el cual tiene una baja velocidad de derrame de manera que los lodos fluyen al fondo del tanque y se crea una capa de lodo, la cual se remueve controladamente. La concentración de sólidos de los lodos puede aumentar hasta un diez por ciento o más por la remoción de agua.

El espesador recibe lodos del sedimentador secundario para enviarlos más densos al tanque estabilizador de lodos para su digestión. Una vez estabilizados retornan al espesador para unirse con lodos digeridos del reactor anaerobio, donde la mezcla de lodos disminuye su volumen y aumenta su concentración de sólidos, y posteriormente ser pasada por el filtro prensa para su acondicionamiento (*Figura 2.15*).



Figura 2.15 Espesador

2.4.3 Deshidratación

El filtro prensa es un dispositivo que elimina una cantidad de agua suficiente para que el resto pueda manejarse como material sólido con un contenido de humedad inferior al 80% (*Figura 2.16*).

Los lodos densos son bombeados del espesador para inyectarlos en el filtro prensa que consiste en una serie de placas rectangulares, que se colocan enfrentadas entre sí en posición vertical sobre un bastidor con extremo fijo y otro móvil. Sobre cada una de las placas se ajusta una tela filtrante. Las placas se mantienen juntas con fuerza para que se adhieran herméticamente y puedan, resistir la presión aplicada durante el proceso de filtración. Para que las placas se mantengan unidas, se emplean prensas tornillos accionados mecánicamente.

Durante el funcionamiento los lodos se bombean al espacio existente entre las placas, y se aplica una presión variable que se mantiene durante 1-3 h, forzando el líquido a pasar a través de la tela filtrante y de los orificios de salida de las placas. Seguidamente se separan las placas y se extrae la torta de lodo manualmente. El filtro prensa esta conectado a una tubería que conduce el agua que drena el lodo para llevarla al inicio del sistema.



Figura 2.16 Filtro prensa

2.4.4 Disposición

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México trabaja conjuntamente con la Delegación Xochimilco en lo relacionado a operación hidráulica, y en varios aspectos la Delegación esta sujeta a la primera por ser un organismo gubernamental de mayor jurisdicción que: presta los servicios públicos de suministro de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y reutilización; opera, mantiene y construye la infraestructura hidráulica; explota, usa, aprovecha las aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y la calidad para contribuir al desarrollo integral sustentable de la Ciudad de México.

En base a esto la Delegación Xochimilco debe solicitar a Sistema de Aguas de la Ciudad de México la utilización de un lavadero para escurrir primeramente los lodos, ubicado en Cabeza de Juárez en la Delegación Iztapalapa, y de su relleno sanitario del Bordo de Suchiaca en el Estado de México para su disposición. Este relleno es un sitio preparado donde se colocan los sólidos de las aguas residuales y se cubren con una capa de suelo.

Pues bien a los lodos deshidratados de la planta de tratamiento Chabacano se les conduce al relleno sanitario donde se verterán y acondicionarán con cal.

2.5 Línea de conducción a gravedad a la zona chinampera

Las aguas residuales después de recibir tratamiento se disponen a la zona canalera que se encuentra sobre la Av. Nuevo León en Santa Cruz Acapulxca, para recargar tanto los canales como su uso en el riego agrícola (Figura 2.17).

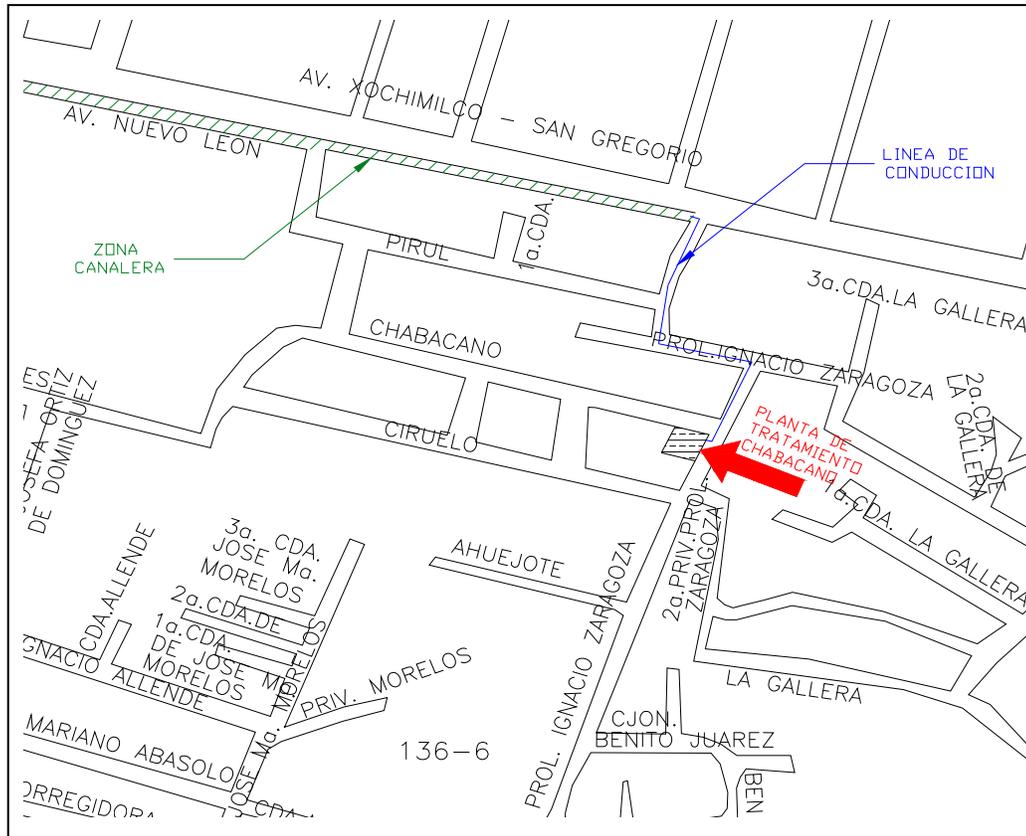


Figura 2.17 Línea de conducción a la zona canalera

Como se ve en la figura el punto de descarga se encuentra entre Av. Nuevo León con Prolongación de Ignacio Zaragoza en Santa Cruz Acapulxca.

El tipo de tubo para llevar el efluente es de PVC de 3" de 180 m de longitud.

2.6 Marco legal

La disposición de residuos líquidos y sólidos por medios adecuados y eficaces que eliminen toda molestia, sin violar los derechos y bienestar de los individuos y de las comunidades, está sujeta a leyes y reglamentos. Sólo a través de dichos ordenamientos y como consecuencia de su observancia estricta puede garantizarse a toda la población un ambiente limpio, confortable y saludable.

En los siguientes apartados se resumen las NOM's (Normas Oficiales Mexicanas) en materia de control de las descargas de agua y de disposición de lodos y biosólidos.

Para nuestro estudio nos interesaran las NOM-001-SEMARNAT, NOM-002-SEMARNAT, NOM-003-SEMARNAT y NOM-004-SEMARNAT. Porque el agua tratada se dispone en un cuerpo de agua nacional (zona canalera), y a su vez tiene contacto directo o indirecto con el público (actividades recreativas, servicios etc.). Y el agua residual que no entra en la PTAR sigue su curso en la red de alcantarillado también debe cumplir determinadas condiciones. Se menciona lo referente a lodos y biosólidos por ser generados durante el tratamiento.

2.6.1 NOM 001-SEMARNAT 1996

Esta norma oficial establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas (*Cuadro 2.4 & 2.5*)

Cuadro 2.4 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BASICOS																				
PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos suspendidos totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda bioquímica de oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

(1) Instantáneo

(2) Muestra simple promedio ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P. D. = Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual;

N.A. = No es aplicable.

(A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996

Cuadro 2.5 Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																				
PARÁMETROS (*) (miligramos por litro)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuro	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.

P.D.= Promedio Diario P.M.= Promedio Mensual N.A.= No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996

2.6.2 NOM 002-SEMARNAT 1996

Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Los límites máximos no deben ser superiores a los indicados en el *Cuadro 2.6*. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

Cuadro 2.6 Límites máximos permisibles

PARAMETROS (mg/l, excepto cuando se especifique otra)	PROMEDIO MENSUAL	PROMEDIO DIARIO	INSTÁNTANEO
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996

2.6.3 NOM 003-SEMARNAT 1997

Esta norma oficial establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades publicas responsables de su tratamiento y reuso.

Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en el *Cuadro 2.7*.

*Cuadro 2.7 Límites máximos permisibles de contaminantes***LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES**

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	5	15	30	30

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997

2.6.4 NOM 004-SEMARNAT 2002

Esta norma establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

Los límites máximos permisibles de metales pesados se establecen en el *Cuadro 2.8*.

*Cuadro 2.8 Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos***LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS EN BIOSOLIDOS**

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002

Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos se establecen en el *Cuadro 2.9*.

Cuadro 2.8 Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA PATÓGENOS Y PARASITOS EN LODOS Y BIOSOLIDOS

CLASE	INDICADOR BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACIÓN	PATÓGENOS	PARÁSITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002

El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase como se especifica en el *cuadro 2.9* y su contenido de humedad hasta el 85 %

Cuadro 2.9 Aprovechamiento de biosólidos

APROVECHAMIENTO DE BIOSOLIDOS

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos con contacto publico durante su aplicación • Los establecidos para clase B y C
EXCELENTE O BUENO	B	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos sin contacto publico durante su aplicación • Los establecidos para clase C
EXCELENTE O BUENO	C	<ul style="list-style-type: none"> • Usos forestales • Mejoramiento de suelos • Usos agrícolas

**CAPITULO
III**

**DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO**

En virtud de que el tesista laboró en la planta de tratamiento Chabacano se le otorgaron las facilidades para realizar un estudio relativo a los procesos que integran la planta y para efectuar las pruebas para evaluar su eficiencia. Dicho estudio tuvo una duración de un año, al concluirlo se tuvo información sobre las condiciones de la infraestructura y del funcionamiento de las operaciones y procesos unitarios de la PTAR.

El presente diagnóstico se basa en la información evidente recopilada en el reconocimiento en sitio, así como en la información verbal directamente proporcionada por el personal de operación.

En este capítulo se presentan los principales problemas observados.

3.1 Variaciones entre el diseño original, lo construido y lo convencional

Existen casos en los que las empresas constructoras han modificado el proyecto original de una planta de tratamiento o han dejado la obra inconclusa. Al comparar los planos originales de la planta Chabacano con la obra existente se observó que el constructor se apegó al diseño original. Sin embargo, desde el punto de vista técnico, la planta tiene diferencias en comparación con un diagrama de flujo convencional de lodos activados, no obstante que fue diseñada con base en dicho proceso, en particular carece de sedimentador primario, en su puesta en marcha no operaba el desarenador a pesar que se dispone de él, no se recirculan los lodos al reactor y no cuenta con tanque de contacto de cloro, entre otros aspectos.

3.2 Administración de la planta

La PTAR es operada por la Delegación Xochimilco a través de la Unidad Departamental de Alcantarillado y Desazolve, la cual además tiene a su cargo el mantenimiento e introducción de la red de alcantarillado y la construcción de obras de alcantarillado pluvial. La *Figura 3.1* muestra la parte del organigrama de la Delegación que se relaciona con la operación de las plantas de tratamiento bajo su responsabilidad.

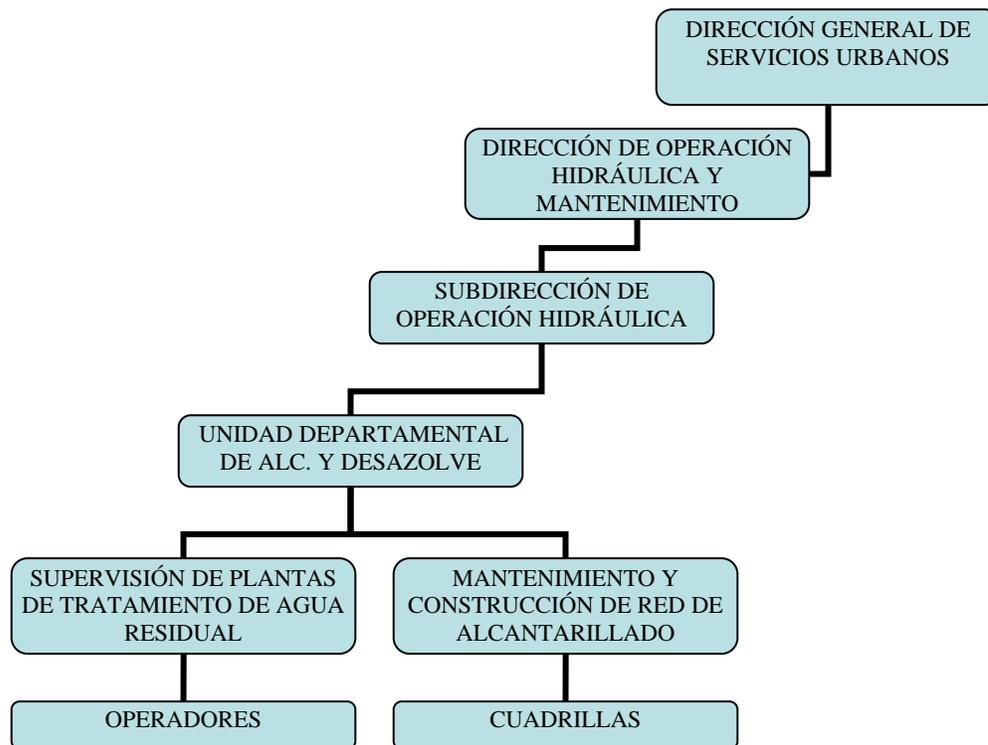


Figura 3.1 Organigrama delegacional en relación con la PTAR

La Dirección General de Servicios Urbanos y la Dirección de Operación Hidráulica y Mantenimiento atienden varias áreas, entre ellas la de Alcantarillado y Desazolve. La Subdirección de Operación Hidráulica delega la responsabilidad de operar las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR's) a la Unidad Departamental de Alcantarillado y Desazolve (UDA y D); esta unidad se apoya en las cuadrillas de mantenimiento e introducción de red de alcantarillado para suministrar este servicio público y en el personal de supervisión de las plantas de tratamiento para su control.

Las actividades de introducción y mantenimiento de la red de alcantarillado en la demarcación demandan gran parte de los recursos humanos y materiales de que dispone la UDA y D, lo que trae como consecuencia en alguna medida que no se atiendan oportunamente los requerimientos operativos de las PTAR's las cuales han aumentando en número, de 4 en 2000 a 10 en 2005.

3.2.1 Estructura de la organización de la PTAR Chabacano

El organigrama del personal que opera la PTAR Chabacano se muestra en la *Figura 3.2*. Las funciones generales se describen a continuación.

Los supervisores recorren la planta de tratamiento Chabacano diariamente para inspeccionar su funcionamiento e indican lo que deben realizar los operadores previa aprobación del jefe de unidad. Inclusive tienen la atribución de pedir personal de cuadrilla solicitado previamente por los operadores para hacer trabajos específicos que demande la PTAR.

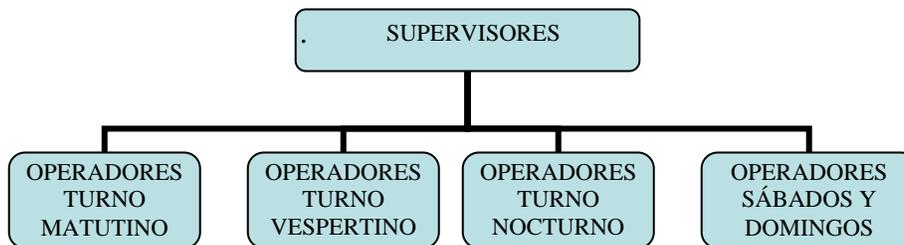


Figura 3.2. Personal operativo de la PTAR

Los operadores tienen en marcha la planta y mantienen al tanto a los supervisores. Y todas sus actividades las llevan registradas en una bitácora para consulta de la Unidad Departamental de Alcantarillado y Desazolve y de los otros operadores. Por las razones que se describen en el siguiente párrafo se considera que la estructura operativa de la PTAR no es la idónea para su funcionamiento eficiente.

3.2.2 Personal disponible y aptitud para el trabajo

De los dos supervisores de la PTAR Chabacano uno tiene preparación profesional y el otro apenas tiene estudios de secundaria; no obstante, tiene experiencia en el control de la planta. Por otro lado, los operadores reciben esta denominación, pero tienen aptitudes apenas suficientes para realizar tareas de mantenimiento general de la planta de tratamiento, por lo que no deberían tener dicha designación, es decir que en esencia se carece de un responsable de la operación de la planta. La contratación de personal capacitado con el perfil profesional adecuado es difícil debido al bajo salario tabular para este puesto.

Desde su ingreso al puesto, ninguno de los empleados ha recibido capacitación formal en los procesos operativos de la planta.

3.3 Seguridad e higiene

Al personal de campo de la UDA y D se le proporciona anualmente un par de botas, una faja, una camisola, un pantalón, una gorra y un impermeable; este vestuario es adecuado para las actividades de mantenimiento de la red sin embargo no es suficiente para los operadores de la PTAR, y se necesita complementar con guantes de látex, overoles desechables mca. tyvek, botas de hule, cubre bocas desechables, etc. Asimismo no hay un responsable en la planta para exigir la portación de las prendas adecuadas de trabajo para prevenir accidentes.

La seguridad en la planta es deficiente pues existen numerosas condiciones de riesgo para el personal, como son: falta de barandales de protección, material disperso, falta de señalizaciones, por citar las más evidentes

Finalmente, el personal no recibe atención médica periódica, ni existen medidas preventivas como vacunación contra el tétanos y desparasitación.

3.4 Operación

La operación se ha efectuado por prueba y error más que por conocimiento y análisis del funcionamiento.

En lo referente a la evaluación de la eficiencia de la operaciones y procesos:

- Se ha hecho de manera cualitativa, empleando pruebas visuales practicadas de manera rústica con materiales improvisados (*Figura 3.3*), debido a la falta de un laboratorio en la planta.



Figura 3.3. Pruebas visuales

En lo referente al equipo mecánico e instalaciones eléctricas:

- Los tableros y el equipo mecánico se encuentran muy sucios de polvo y grasa.
- Los tableros de control han sido rehabilitados para operar en forma manual, a conveniencia del operador.
- Las bombas sumergibles no cuentan con el control de electroniveles de paro, arranque y alternador, por lo que su operación se hace en forma muy irregular.
- El mantenimiento siempre y en todos los casos se hace en forma correctiva y en ningún caso se tiene mantenimiento preventivo, como resultado en un plazo medianamente corto se ha provocado gran decaimiento de toda la instalación eléctrica, haciendo de este sistema una instalación sumamente crítica.
- Hay fallas mecánicas frecuentes en bombas sumergibles y motores de los inyectores demorando las reparaciones mucho tiempo.

3.4.1 Manuales de operación y planos

Se carece de manuales de operación y planos de detalle de instalaciones hidráulicas y eléctricas de la PTAR y del equipo mecánico que permitan conocer la ubicación exacta; dimensiones, niveles, y geometría de las unidades de proceso. En lo que se refiere a manejo de equipo mecánico se atienden las instrucciones de los fabricantes cuando es posible.

3.4.2 Registros de operación

Llevar registros de las actividades realizadas es parte del funcionamiento de una planta de tratamiento.

Los registros elaborados por los operadores de la planta Chabacano se refirieren a la parte mecánica y eléctrica ignorando los detalles de la secuencia del proceso. Señalando el comportamiento y el estado del equipo que es más evidente para los operadores, pero no tienen criterio ni conocimiento para anotar observaciones sobre los aspectos físicos, biológicos y químicos del tratamiento.

Lo que se puede obtener de los registros existentes es una comprobación en cuanto a problemas de mantenimiento en el equipo mecánico pero no del control de los procesos. No obstante el funcionamiento de la planta depende del equipo.

No se anota de manera clara y concisa lo que ha sucedido y lo que se ha hecho. Por lo que las experiencias no se pueden aprovechar en el futuro cuando se presenten determinadas circunstancias de operación.

No se efectúan pruebas de laboratorio del influente y efluente por lo que no se dispone de un historial de la planta. El único documento que se tiene como memoria es la bitácora.

3.5 Estado actual del funcionamiento de las unidades de la planta

En una revisión de los procesos y operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales Chabacano efectuada a mediados de 2004 por la Delegación Xochimilco y complementándose con el dictamen realizado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México se encontraron deficiencias en el tren de tratamiento (*obsérvese Figura 3.4*), como se describe a continuación.

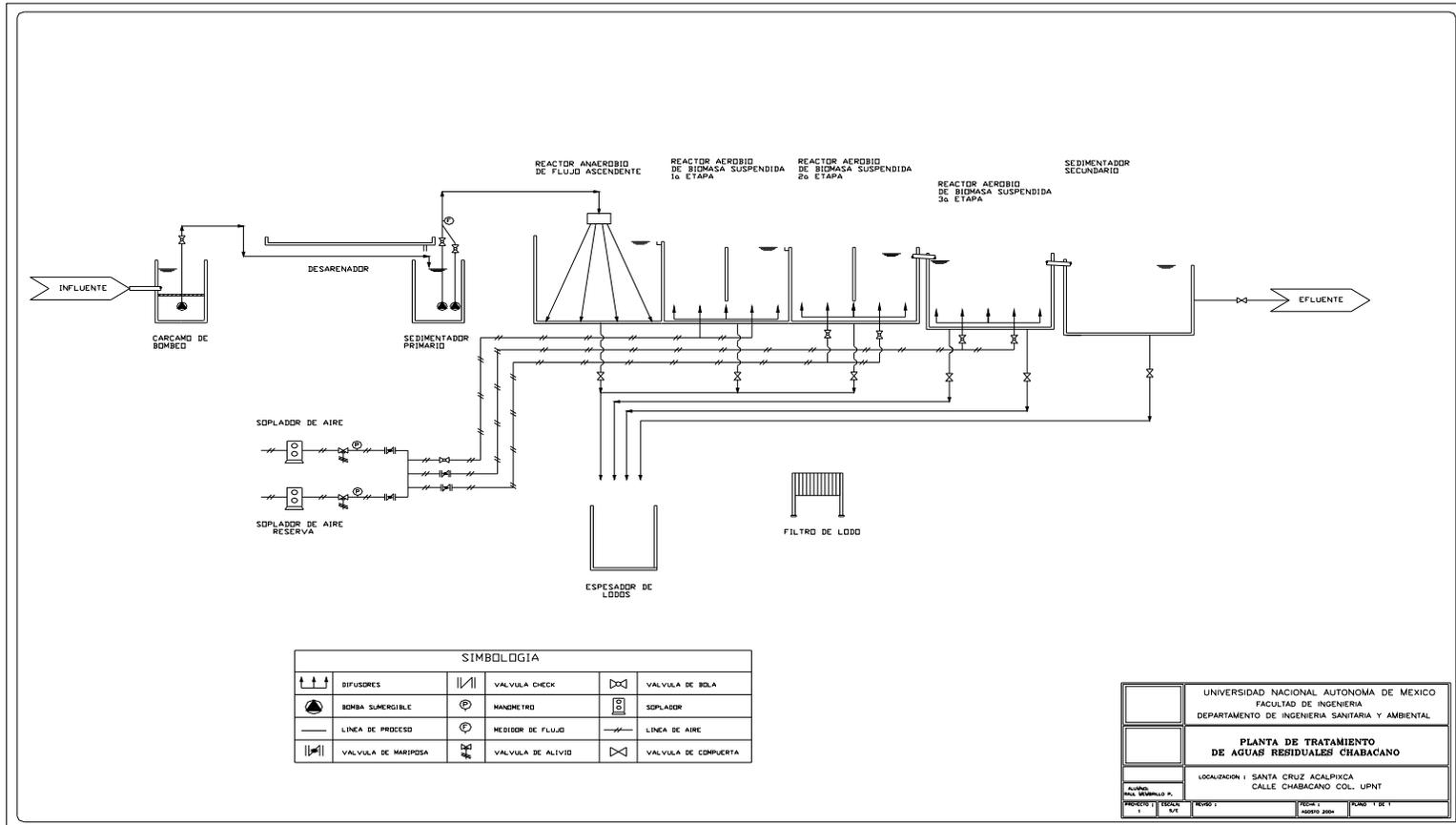


Figura 3.4 Tren de tratamiento en operación

TRATAMIENTO PRELIMINAR

Operación o proceso unit	¿Funciona?		Observaciones
	S	N	
Cárcamo de de llegada	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de olores fétidos.
Cribado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Retiene sólidos grandes.
Canal desarenador	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	No está funcionando.
Tanque homogenizador	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de olores fétidos.
Medidor de gasto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sí está funcionando.

CÁRCAMO DE LLEGADA

El agua residual en esta operación unitaria produce olores fétidos por la descomposición de la materia orgánica depositada en el fondo y para su desazolve requiere paro de la planta. Además, si el nivel en el cárcamo se eleva produce que el nivel de la red de alcantarillado también se incremente y que las aguas residuales lleguen a aflorar en las conexiones domiciliarias de las casas con menor elevación de terreno; en estas condiciones, la prioridad es desfogar el agua residual en vez de practicar su tratamiento.

CRIBADO

Opera manualmente en condiciones aceptables, puede eliminar sólidos flotantes de la superficie del agua, protegiendo de taponamientos a las bombas, válvulas y conducciones.

CANAL DESARENADOR

Se encuentra fuera de servicio, si operara eliminaría arenas y por lo tanto el azolve en el tanque homogenizador.

TANQUE HOMOGENIZADOR

Existe presencia de olores fétidos, por la descomposición de la materia orgánica depositada en el fondo del tanque al no existir un medio de mezclado que mantenga los sólidos suspendidos y haga la mezcla de las aguas residuales durante el día.

MEDIDOR DE GASTO

El medidor de gasto está funcionando, pero sería adecuado hacerle una revisión para comprobar su precisión.

TRATAMIENTO PRIMARIO

Operación o proceso unit	¿Funciona?		Observaciones
	S	N	
Reactor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	El control de purgas no es el adecuado

REACTOR ANAEROBIO

No se lleva un control de purgas en el reactor anaerobio. Funcionaría mejor como sedimentador primario, rectangular gravitacional, sin recolección mecánica de lodos.

Al tomar una muestra de la purga de lodo obtenido se observa completamente negra con una gran cantidad de azolve. Se recomendó realizar la prueba de sólidos sedimentables a 60' y conociendo el volumen del tanque, calcular el volumen producido y estimar el volumen a purgar al día.

Si se realiza una derivación, de la línea de retorno de los lodos del sedimentador al reactor aerobio descargando al reactor anaerobio, y abrirla solamente para purgar parte del exceso de lodo (el resto se mandaría al digestor aerobio) se aprovecharía su actividad en este reactor ya que al carecer de aire los microorganismos sobrevivirán en condiciones anaerobias.

TRATAMIENTO SECUNDARIO

Operación o proceso unit	¿Funciona?		Observaciones
	S	N	
Reactores aerobios	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Valor de sólidos suspendidos en el licor mezclado bajo. Formación de espumas blancas
Sedimentador	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Turbiedad en el efluente. No existe recirculación de lodos. Falta un control de purgas.

REACTORES AEROBIOS

Hay formación de espumas blancas en estos reactores. El contenido de sólidos suspendidos en el licor mezclado (medición indirecta de microorganismos presentes) es demasiado bajo (*Figura 3.5 & Figura 3.6*).

SEDIMENTADOR SECUNDARIO

No funciona bien ya que se observa turbiedad en el efluente por lo que es necesario purgar para remover exceso de sólidos. Carece de una pendiente en el fondo para concentrar los lodos y no hay tampoco una recirculación de lodos del sedimentador secundario a los reactores aerobios.



Figura 3.5 Presencia de espumas blancas en los reactores aerobios.



Figura 3.6 Presencia de espumas blancas en los reactores aerobios.

TRATAMIENTO DE LODOS

Operación o proceso unit	¿Funciona?		Observaciones
	S	N	
Digestor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabaja como un reactor aerobio
Espesador	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	No se usa adecuadamente
Filtro prensa	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	No está funcionando
Disposición	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Si hay lugar para la disposición de lodos

DIGESTOR

Funciona como un reactor aerobio más, lo que vuelve al sistema convencional un tratamiento de aireación extendida.

ESPESADOR

No se usa adecuadamente para concentrar los lodos. La mayor parte de tiempo está en desuso porque no hay conexión con el filtro prensa mediante una bomba para inyectarle los lodos o para remitirlos al digestor aerobio.

FILTRO PRENSA

No está funcionando, y esta deteriorándose por falta de uso y mantenimiento. Sencillamente no hay una derivación de aire comprimido de los sopladores para introducirle aire y desaguar los lodos.

DISPOSICIÓN

Se cuenta con un lugar apropiado en Cabeza de Juárez en la Delegación Iztapalapa para disponer los lodos.

3.6 Eficiencia global del funcionamiento

El estado de los procesos de una planta de tratamiento se mide mediante pruebas de laboratorio, las cuales incluyen pruebas físicas, químicas y biológicas.

El tesista efectuó un muestreo instantáneo del influente del cárcamo de llegada y del efluente del sedimentador secundario para realizar las pruebas correspondientes, y tener una idea de la calidad del tratamiento. Cabe señalar que la medición de los parámetros del agua residual fue realizada en el laboratorio de biotecnología de tratamiento de aguas residuales de la UAM Iztapalapa. Estas pruebas de laboratorio fueron: sólidos sedimentables 30' & 60', pH, DQO y temperatura (*Figura 3.8*).

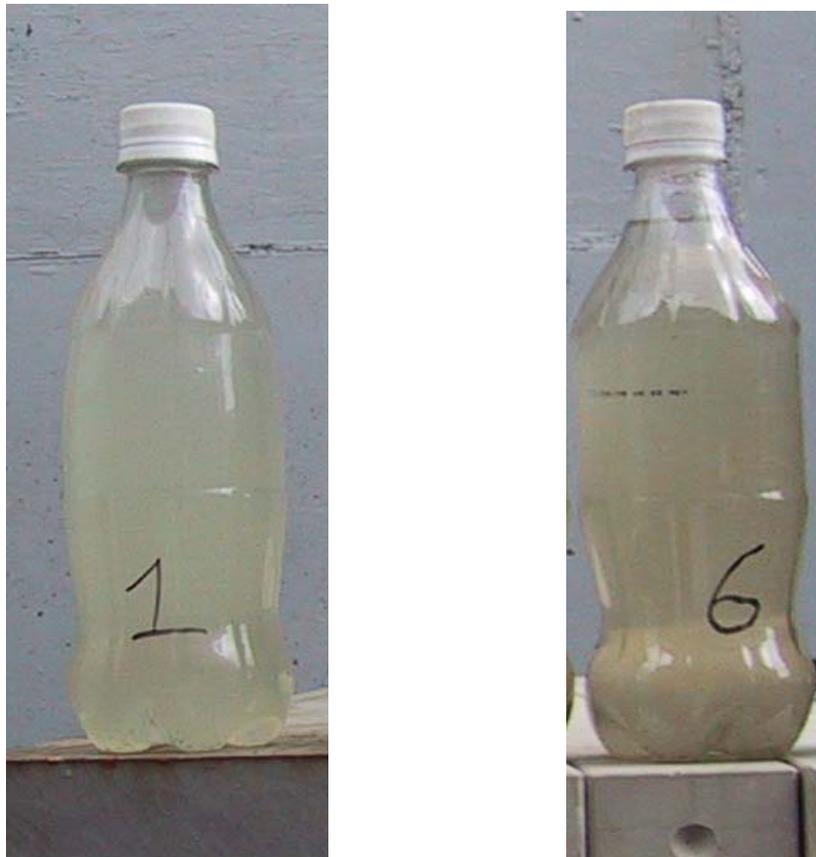


Figura 3.7 Muestras de influente y de efluente para el diagnostico de la planta de tratamiento

Cuadro 3.1 Resultados de los análisis de laboratorio

	CONCENTRACION DQO	pH	SOL.SEDIMENTABLES 60'
INFLUENTE	308	6.0-8.0	<10 ml/L
EFLUENTE	160	6.0-8.0	<10 ml/L

Se hizo prueba de DQO en vez de DBO a las muestras debido al tiempo que requiere de 5 días esta última, y la primera únicamente de 2 hrs.

El valor de la DQO apreciada en el influente no es alto, y podría deberse a las lluvias que al mezclarse con las aguas residuales disminuyeron la concentración de DQO.

El pH estuvo dentro del rango aceptable.

Los valores en la prueba de sólidos sedimentables a los 60' tanto al influente (para arenas) como al efluente (para arrastre de sólidos) son mínimos (<10ml/L).

El valor de la prueba de sólidos sedimentables a los 30' para el contenido de biomasa en los reactores aerobios es muy bajo (< 50 ml/L).

Encontramos así que la eficiencia total de remoción de sustrato con la que opera la planta es de:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{DQO}_{\text{influyente}} - \text{DQO}_{\text{efluente}}}{\text{DQO}_{\text{influyente}}} = \frac{308 - 160}{308} = 48 \%$$

Para el tratamiento de lodos activados se puede esperar una eficiencia global en la PTAR de 80- 95 %. Por lo que la planta es deficiente en su tratamiento.

Cuadro 3.2 Resumen del diagnóstico de la PTAR Chabacano.

ASPECTO EVALUADO	DEFICIENCIAS	BREVE DESCRIPCION
1. Diseño de la planta	1.1 Variación del diseño original y lo convencional	Faltan la construcción de elementos fundamentales en la PTAR y el funcionamiento de otras
2. Administración de la planta	2.1 Organigrama general 2.2 Personal disponible de la PTAR	Debido a la atención prioritaria de la construcción y mantenimiento de la red de alcantarillado no se atiende adecuadamente a la PTAR No hay un responsable permanente en la planta de tratamiento No se ha recibido capacitación de los procesos
3. Seguridad e higiene	3.1 Medidas de seguridad e higiene	No se proporciona la indumentaria y equipo necesario No hay atención médica periódica ni medidas de seguridad
4. Operación	4.1 Manejo de las operaciones y procesos unitarios 4.2 Mantenimiento de la PTAR 4.3 Manuales y planos 4.4 Registros de operación	El control de los procesos se maneja al azar y las pruebas practicadas se realizan de manera rústica Tableros y equipo mecánico sucio por polvo y grasa. El mantenimiento del equipo mecánico se hace siempre correctivo y demora mucho Se carece de manuales y planos de las diferentes instalaciones de la PTAR Se carece de un historial de la PTAR Se refieren a la parte mecánica y eléctrica de la PTAR y no son claros y concisos
5. Estado de las unidades de la PTAR	5.1 Ausencia y funcionamiento de elementos	Hay elementos de que carece la planta y otros que ya sea que estén funcionando mal o fuera del proceso

CAPITULO IV.

MEDIDAS DE MEJORAMIENTO

En este capítulo se presentan, para cada una de las deficiencias identificadas en el cuadro 3.2 del capítulo 3, las propuestas de mejora o solución de los problemas observados.

4.1 Administración de la planta

Deficiencia 2.1 Organigrama general

Como las actividades de introducción y mantenimiento de la red de alcantarillado demandan gran parte de los recursos humanos y materiales de que dispone la Unidad Departamental de Alcantarillado y Desazolve, sería deseable que se hicieran algunas modificaciones al organigrama delegacional para crear una Unidad Departamental de Plantas de Tratamiento que tendría entre sus funciones las de operar, mantener, modificar o ampliar la PTAR así como atender la disposición y reúso del efluente tratado y del manejo de los lodos producidos de acuerdo a las NOM-001-SEMARNAT, NOM-002-SEMARNAT, NOM-003-SEMARNAT y NOM-004-SEMARNAT (*Figura 4.1*).

Considerando que se tendrán 10 plantas de tratamiento en operación, debe subsanarse la práctica actual en la que el tratamiento no recibe la atención debida, no obstante que se empieza a disponer de la infraestructura para controlar la contaminación del agua en la zona chinampera y para reúso en las zonas de riego.

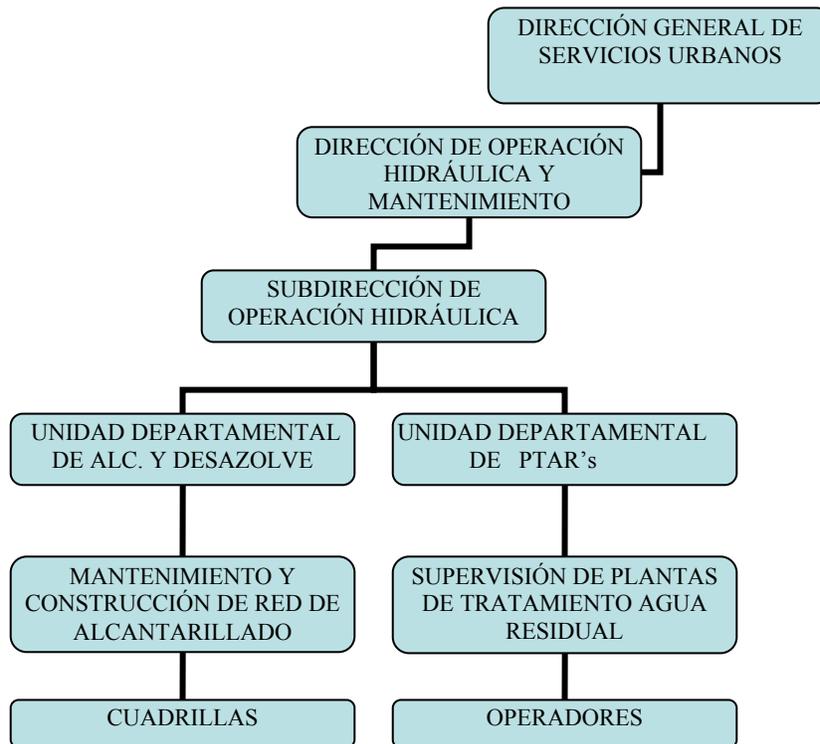


Figura 4.1. Propuesta de modificación al organigrama delegacional

4.1.1 Preparación del personal de la PTAR Chabacano

Deficiencia 2.2 Personal disponible de la PTAR

Se propone organizar cursos de capacitación para el personal, a fin de que puedan acometer sus labores con conocimiento de los procesos de una manera planificada y sistemática, elaborando además los documentos de control de los que actualmente se carece (registros, bitácoras, programas de mantenimiento, manuales de operación, y memorias de labores). Por otro lado, se recomienda solicitar una partida del presupuesto de la Delegación para asesoramiento por personal especializado en la operación de las plantas de tratamiento.

4.2 Implantación de medidas de seguridad e higiene

Deficiencia 3.1 Medidas de seguridad e higiene

Se propone:

1. Contar con principios básicos sobre higiene y seguridad. Una acción para poner de manifiesto los riesgos en la planta de tratamiento son algunos cursos sobre prevención de accidentes y de peligros de enfermedades en la operación de la PTAR.
2. Que las herramientas, piezas de repuesto y otros objetos no se dejen en cualquier parte.
3. Contar con un botiquín de primeros auxilios. Por pequeño que parezca un rasguño o cortadura deberá recibir atención. La mayoría de las infecciones llegan al cuerpo por vía bucal, nasal, o por ojos y oídos por lo que las personas que operan las plantas de tratamiento deberán lavarse las manos antes de fumar o comer. Se recomienda la vacunación contra las enfermedades de origen hídrico, tétanos e infecciones de la piel.
4. Llevar ropas de trabajo y casco debiéndose lavar con frecuencia. En los lugares mojados, los pies deberán protegerse con botas de hule.
5. De igual manera como medidas de seguridad inmediatas, se recomienda instalar barandales en los tanques.

4.3 Operación

En virtud de que actualmente no se realizan actividades para el control del proceso, es preciso implantar un programa de control que permita identificar los problemas, para remediarlos, que van surgiendo durante la operación de la planta.

4.3.1 Control de proceso del tratamiento del agua residual

Deficiencia 4.1 Manejo de las operaciones y procesos unitarios

El control de un proceso de lodos activados, deberá consistir en la revisión actual y estadística de información y de resultados de pruebas de laboratorio de los parámetros operativos.

Esta información y resultados se referirán a: relación alimento / microorganismos (F/M); tiempo medio de retención celular (TMRC); concentración de sólidos suspendidos totales y volátiles en licor mezclado (SSLM & SSVLM); oxígeno disuelto (OD); índice volumétrico de lodos (IVL); observaciones en microscopio y calidad del agua.

Dentro de las técnicas y métodos de control de proceso se pueden mencionar: 1) el control de aireación y oxígeno disuelto en el reactor biológico; 2) el retorno de lodos activados y 3) la purga de lodos en exceso.

1) La aireación en el reactor biológico tiene por objeto mantener la biomasa activa en suspensión y propiciar el contacto íntimo entre los microorganismos y la materia orgánica a degradar, así como suministrar el oxígeno necesario para que los microorganismos oxiden la materia orgánica.

El oxígeno disuelto en el tanque de aireación debe de mantenerse con valores entre 1 y 2 mg/l para oxidación carbonácea. Cuando el oxígeno disuelto tiene valores superiores, se está desperdiciando energía costosa y posiblemente se esté propiciando la disgregación de los flóculos, una mala sedimentación, y eventualmente la flotación de los lodos, con el consiguiente deterioro de la calidad del efluente.

2) Para poder mantener una concentración aceptable de biomasa activa en el reactor biológico, es necesario separarla en el sedimentador secundario y retornarla al tanque de aeración lo antes posible.

Para definir el retorno de lodos se puede emplear alguna de las siguientes técnicas:

- Controlar la profundidad del manto de lodos en el sedimentador
- Con resultados de la prueba de sedimentación en 30 min.
- Con un balance de masa en el sedimentador secundario
- Con un balance de masa en el tanque de aeración
- De acuerdo con la calidad del lodo

3) La técnica ó procedimiento más importante, usado para controlar un proceso de lodos activados es el control de la purga de lodos. Esta purga de lodos afecta al sistema más que cualquier otra acción, teniendo influencia en:

- a. Calidad del efluente
- b. Tasas de crecimiento y tipo de microorganismos
- c. Consumo de oxígeno
- d. Sedimentabilidad del licor mezclado
- e. Requerimientos de nutrientes
- f. Formación de espumas y flotación de lodos
- g. Nitrificación

Los métodos más comunes para controlar la cantidad de lodos a purgar se basan en:

- Establecer tiempo medio de retención celular constante
- Mantener en lo posible una relación F / M constante
- Mantener en lo posible una concentración de sólidos suspendidos en licor mezclado constante
- La calidad de lodos

Para poder llevar a cabo el control del proceso en una forma racional, es necesario contar con un laboratorio con el equipo, instrumentos y materiales suficientes para montar las técnicas analíticas de los parámetros de control antes mencionados. A continuación se presenta un listado de los parámetros mínimos recomendados para control de proceso, y su frecuencia (*Cuadro 4.1*).

Cuadro 4.1 Pruebas recomendadas para el control de un proceso de lodos activados

Pruebas recomendadas para el control de un proceso de lodos activados

Parámetro	Sitio de Muestreo	Tipo de Muestra	Frecuencia	
			Recomen.	Mínimo Recomendado
Influente primario				
Flujo	Alimentación	Totalizado	Instantáneo y total	Diario
Demanda bioquímica de oxígeno DBO	Influente	Compuesta	Diario	3 / semana
Sólidos suspendidos totales SST	Influente	Compuesta	Diario	3 / semana
Alcalinidad	Influente	Simple	1 / semana	1 / semana
pH y temperatura	Influente	Simple	Continuo	Continuo
Nitrógeno total Kjeldahl NTK	Influente	Simple	2 / semana	1 / semana
Fósforo total	Influente	Simple	2 / semana	1 / semana

Tanque de aireación				
Oxígeno disuelto OD	Tanque	In situ	Continuo	Continuo
SST y SSV en Licor Mezclado	Efluente	Simple	diario	3 / semana
Prueba sedimentación 30 min.	Efluente	Simple	diario	Diario
Temperatura	Efluente	In situ	diario	Diario
PH	Efluente	Simple	diario	Diario
SST en retorno de lodos RAS	Línea Ret	Simple	diario	Diario
SST y SSV en purga de lodos WAS	Línea Pur	Simple	diario	Diario
Flujo en retorno de lodos	Línea Ret	Totalizado	diario	Diario
Flujo en purga de lodos	Línea Pur	Totalizado	diario	Diario
Observaciones en microscopio	Efluente	Simple	diario	3 / semana

Continuación.

Sedimentador secundario				
Profundidad del manto de lodos	Tanque	In situ	diario	diario
DBO	Efluente	Compuesta	diario	3 / semana
SST	Efluente	Compuesta	diario	3 / semana
pH	Efluente	Simple	diario	Diario
Turbiedad	Efluente	Simple	diario	Diario
NTK	Efluente	Simple	2 / semana	1 / semana
P	Efluente	Simple	2 / semana	1 / semana
Nitratos	Efluente	Simple	2 / semana	1 / semana

Se deberán elaborar formatos u hojas de reporte mensual cuyo contenido permita un análisis estadístico para definir las condiciones óptimas de operación en la planta.

4.3.2 Implantación de medidas de mantenimiento en la PTAR

Deficiencia 4.2 Mantenimiento de la PTAR

Para el buen funcionamiento de las estructuras y otros medios de la planta se tienen que:

1. Desaguar las estructuras de la planta como son los tanques y cárcamos cuando menos una vez al año para revisarlos.
2. Pintar las tuberías con diferentes colores señalando también el sentido de flujo. Tales como: la línea de aguas residuales, la línea de lodos, la línea de agua tratada, la línea de gases, la línea de hipoclorito y la línea de aire comprimido.

Por otro lado se recomienda que se dé mantenimiento preventivo al equipo mecánico. El equipo de la planta requiere atención periódica; algunos diariamente, otros semanalmente, y otros mensual o anualmente.

Para que un mantenimiento funcione es preciso tener cuatro condiciones:

1. Completo conocimiento del equipo
2. Empleo de la herramienta adecuada
3. Reparación perfecta de las piezas
4. Un programa planeado
- 5.

El 90 por ciento de las fallas de los motores se debe a cuatro causas: suciedad, humedad, fricción y vibración.

Las bombas de aguas residuales son quizá la parte más importante del equipo de la PTAR. Es necesario un completo conocimiento de la construcción y operación de la bomba para procurar su mantenimiento en forma debida.

4.3.3 Realización de planos y obtención de manuales en la PTAR

Deficiencia 4.3 Manuales y planos

Se recomienda realizar o conseguir los planos de los diseños de la planta, mostrando las dimensiones reales de cada unidad así como de las tuberías para referencias.

4.3.4 Mejoramiento de los registros en la PTAR

Deficiencia 4.4 Registros de operación

Se proponen llevar registros adecuados de los trabajos realizados para el buen funcionamiento de la planta, sirviendo de base para la operación y para la interpretación de los resultados en las aguas residuales. Así como para saber cuando fue el último servicio a un equipo y dar el servicio oportuno.

Como todo, el proceso de tratamiento debe controlarse mediante pruebas significativas de laboratorio, hechas sobre muestras representativas. Los resultados de tales pruebas deben ser anotados cuidadosa e íntegramente.

Los registros deberán ser permanentes y las anotaciones habrán de hacerse con tinta indeleble. Una vez hechos hay que guardarlos y archivarlos.

4.4 Adecuación de la infraestructura actual

Deficiencia 1.1 Variación del diseño original y lo convencional

Deficiencia 5.1 Ausencia y funcionamiento de elementos

Se harán los ajustes necesarios como medidas inmediatas en las siguientes unidades para incrementar la eficiencia en la planta de tratamiento Chabacano.

❑ **Cárcamo de bombeo**

En la descarga de la bomba del cárcamo que alimenta al desarenador se instalará un “bypass” para vigilar la cantidad de agua residual que se manda al desarenador y garantizar la sedimentabilidad de las arenas. (Figura 4.2)

❑ **Canal desarenador**

Debido a que el agua residual pasa directamente del cárcamo de llegada al cárcamo de homogenización se pondrá en marcha el canal para evitar el azolvamiento de las unidades posteriores. En gran parte el material obtenido del canal desarenador no es material orgánico susceptible de putrefacción (Figura 4.2)

❑ **Tanque homogenizador**

Se acondicionará con una instalación que le suministrará aire para garantizar una mezcla homogénea de las aguas residuales, además de un “bypass” en la tubería que conduce el agua residual del tanque homogenizador al reactor anaerobio para mantener un control uniforme sobre el gasto bombeado. (Figura 4.2 & Figura 4.3)

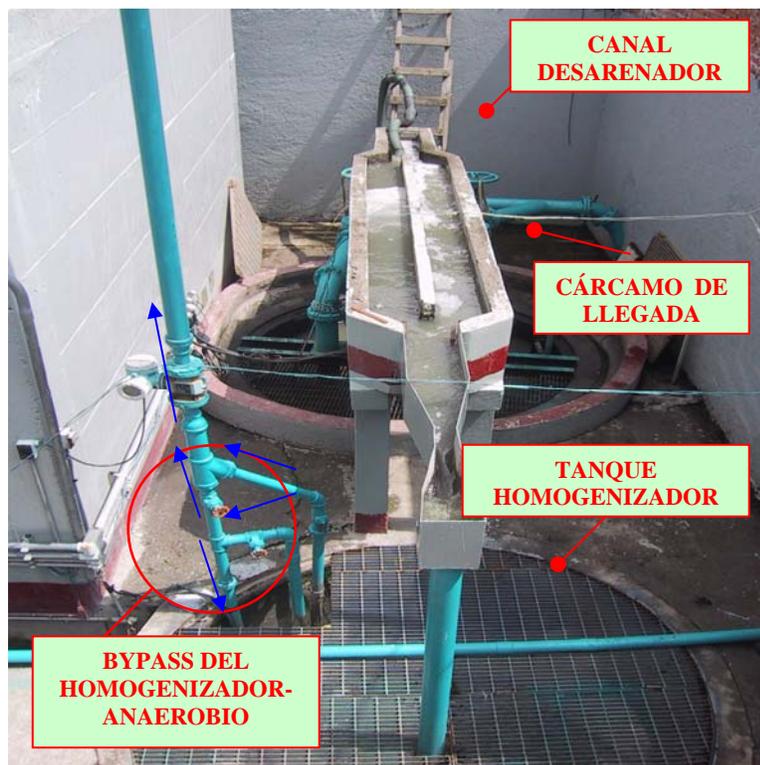


Figura 4.2 Tanque de llegada, canal desarenador y tanque de homogenización.

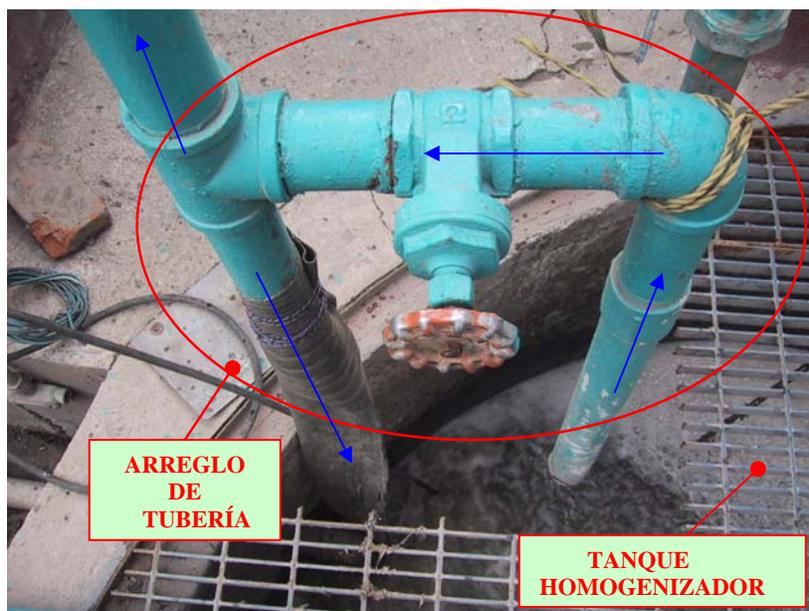


Figura 4.3 Arreglo de tubería para un regreso de agua residual al tanque homogenizador.

❑ Sedimentador secundario

Se propone el cambio de la pendiente del fondo para concentrar los lodos en el punto mas bajo y poder instalar una bomba ahí para recircularlos. También esta considerada la línea de conducción para su transporte al tanque aerobio, así como la instalación de un deflector para retiro de natas (*Figura 4.4*)



Figura 4.4 Vista del sedimentador secundario mostrando el desnatador propuesto ya instalado

❑ Tanque de contacto de cloro y depósito de hipoclorito

Se propone construir un tanque de contacto de cloro y la instalación de un depósito de hipoclorito de sodio con un dosificador para la desinfección del agua tratada y eliminar bacterias coliformes y patógenas (*Figura 4.5*)



Figura 4.5 Vista de la planta que muestra tanque de contacto de cloro y deposito de cloro.

- ❑ Instalación de la bomba y la tubería de retorno de lodos.

La instalación de tubería de PVC y bomba de tipo sumergible permitirá lodos de la tolva del sedimentador secundario al reactor aerobio 1ª fase para mantener la cantidad de biomasa en los reactores aerobio, y al reactor anaerobio para fomentar la sedimentabilidad de los sólidos suspendidos y coloidales(Figura 4.6)



Figura 4.6 Tubería de regreso de lodos (color blanco).

Se recomienda que en el futuro el equipo que se vaya adquiriendo e instalando en la planta de tratamiento siga una política basada en una racionalidad técnica y operativa, y que tome en cuenta las necesidades específicas y las experiencias de operación y mantenimiento del personal de operación.

El diagrama resultante (*Figura 4.7*) no altera el transcurso del agua del tren de tratamiento original, sino que las modificaciones están en cada instalación de la planta Chabacano para mejorar su desempeño.

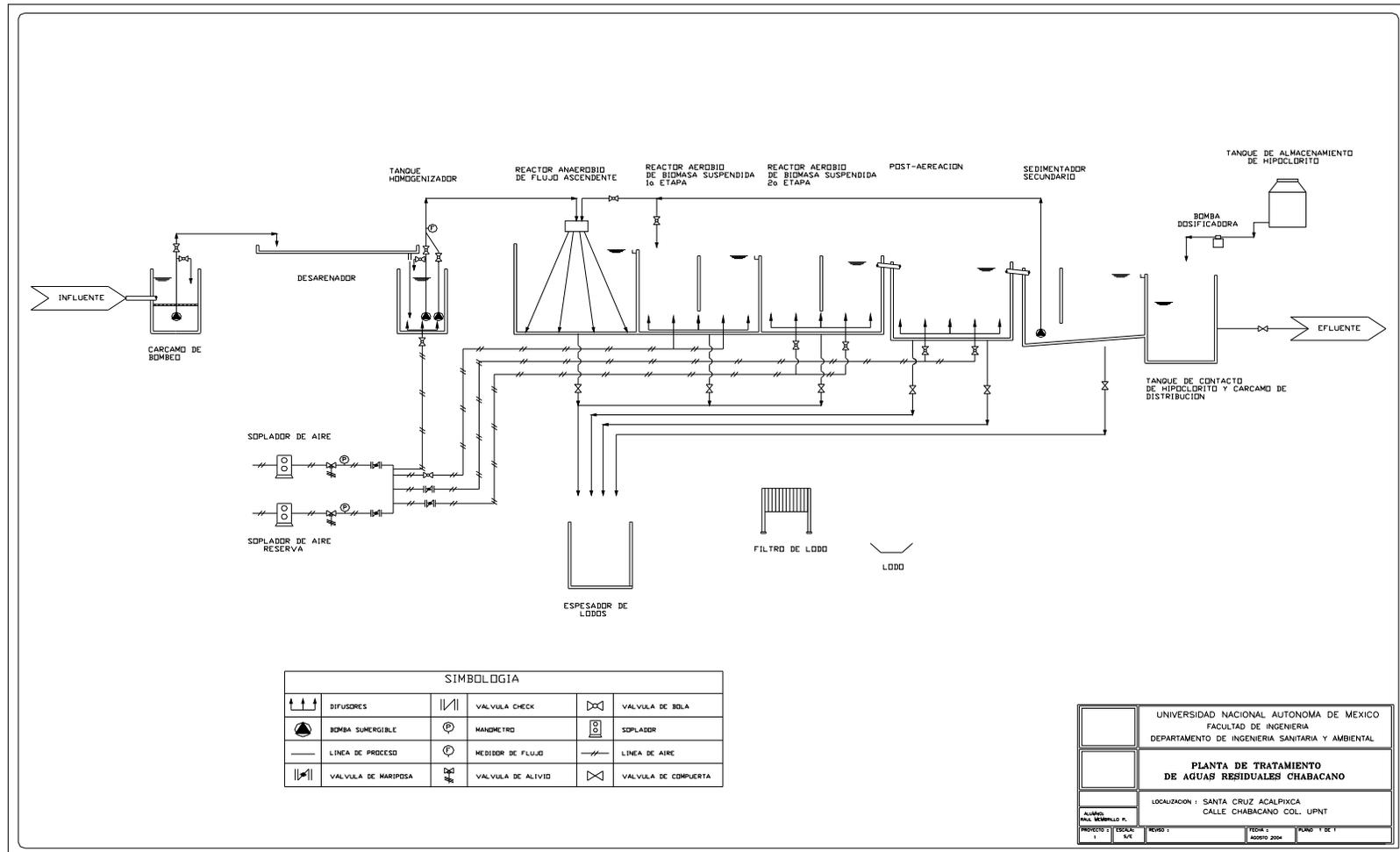


Figura 4.7 Tren de tratamiento resultante.

4.5 Resultado en la calidad del efluente

Se efectuaron las modificaciones propuestas en el apartado 4.4. Con el fin de evaluar la efectividad de dichas adecuaciones, se tomaron muestras instantáneas a intervalos de una hora en un día completo en las transiciones de los procesos con el fin de efectuar un balance de masa (*Figuras 4.8 & 4.9*)



Figura 4.8 Toma de muestras instantáneas.

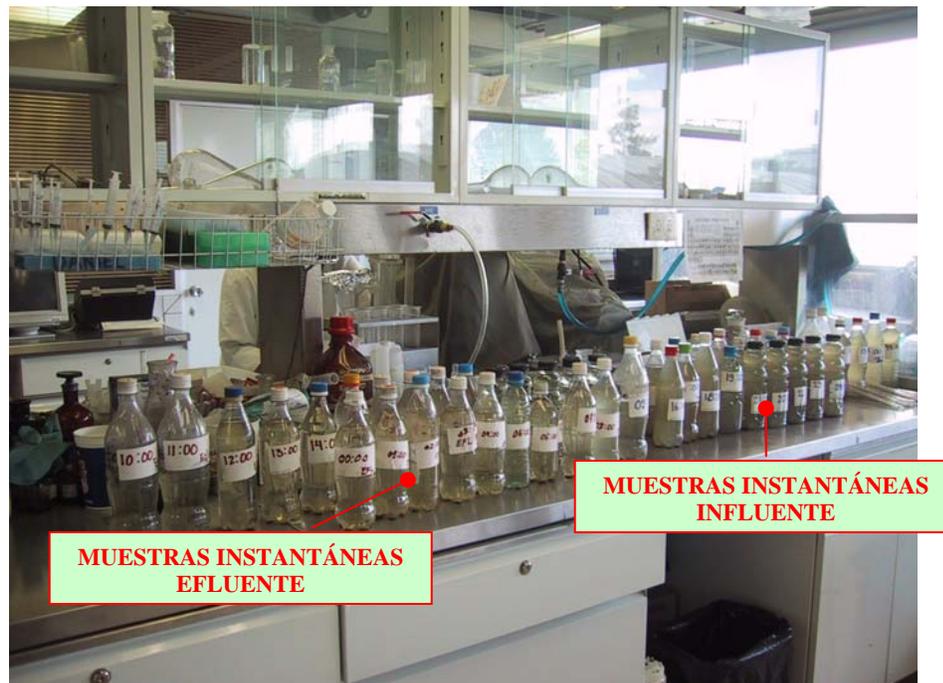


Figura 4.9 Muestras instantáneas.

En el Laboratorio de Biotecnología de Aguas Residuales de la UAM campus Iztapalapa el tesista realizó las siguientes determinaciones de las muestras recolectadas con los procedimientos descritos en el anexo 1. Los resultados de las pruebas se presentan en los cuadros 4.2 & 4.3

- Determinación de DQO de todas las muestras recolectadas (Figuras 4.10 & 4.11)
- Determinación de los Sólidos Suspendedos Totales, Fijos y Volátiles de los reactores aerobios y del sedimentador secundario (Figuras 4.12 & 4.13)
- Se determinaron los Sólidos Sedimentables a los 30' en el reactor anaerobio, en el sedimentador secundario y en el retorno de lodos. (Figuras 4.14)



Figura 4.10 Análisis de DQO según la técnica de dicromato de potasio



Figura 4.11 Lectura de las muestras en el espectrofotómetro



Figura 4.12 Análisis de sólidos suspendidos según técnica del APHA



Figura 4.13 Análisis de sólidos suspendidos según técnica del APHA



Figura 4.14 Prueba de sólidos sedimentables.

Cuadro 4.2 Diagrama de balance de masas en el tren de tratamiento.

CORRIENTE		1	2	3	4	5	6	7	8
DESCRIPCION		INFLUENTE REACTOR ANAEROBIO	EFLUENTE REACTOR ANAEROBIO	EFLUENTE REACTOR AEROBIO 1a ETAPA	EFLUENTE REACTOR AEROBIO 2a ETAPA	EFLUENTE REACTOR AEROBIO 3a ETAPA	EFLUENTE	RETORNO DE LODOS	PURGA DE LODOS
PARÁMETRO									
DQO. (mg/l)	00:00	1552.56	888.75	65.85	44.46	59.75	84.23		
	01:00	1684.10	1118.18	74.52			35.28		
	02:00	1323.14	937.70	35.28			87.28		
	03:00	1473.03	1017.23	68.93			35.28		
	04:00	1350.67	910.17	35.28	62.81	84.23	35.28		
	05:00	1271.13	928.52	26.10			35.28		
	06:00	1408.79	1112.06	68.93			38.34		
	07:00	1589.27	998.88	102.58			71.99		
	08:00	1620.00	735.80	59.75	99.52	71.99	80.02		
	09:00	1494.44	787.80	99.52			65.87		
	10:00	1561.74	800.04	133.17			26.10		
	11:00	1469.97	800.04	87.28			44.46		
	12:00	1778.93	839.81	41.40	62.81	78.11	41.40		
	13:00	1359.84	800.04	47.52			47.52		
	14:00	1237.48	1005.02	151.52			32.22		
	15:00	1268.07	922.40	127.05			26.10		
	16:00	1723.87	775.57	59.75	62.81	90.34	110.57		
	17:00	1598.45	946.87	68.93			114.82		
	18:00	1705.52	864.28	19.99			85.35		
	19:00	1540.33	910.17	62.81			41.40		
20:00	1457.73	1060.06	81.17	114.82	78.11	32.22			
21:00	1381.26	1185.48	26.10			26.10			
22:00	1647.39	1096.77	38.34			23.04			
23:00	1558.68	900.99	32.22			133.17			
ph		6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	
SOL. SEDIMENTALES (ml/l)		10	—	300 - 340	360-380	350-390	—	350	
FLUJO (lts/seg.)		1.5-2	1.5-2	1.5-2	1.5-2	1.5-2	1.5-2	1.5-2	
TEMPERATURA (°C)		17-20	17-20	17-20	17-20	17-20	17-20	17-20	
OXIGENO DISUELTO(mg/l)				3.39	4.35	4.25			

Cuadro 4.3 Concentración de sólidos suspendidos en los reactores biológicos y en el regreso de lodos

MUESTRA	P1 PESO CHAROLA FILTRO g	P2 MUESTRA EVAPORADA	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	P3 MUESTRA CALCINADA	SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS mg/l	SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES mg/l
1a. FASE	1.4226	1.4513	5740	1.435	2480	3260
2a. FASE	1.4249	1.4524	5500	1.4367	2360	3140
3a. FASE	1.4214	1.4563	6980	1.4386	3440	3540
PURGA DE LIDOS	1.425	1.4908	13160	1.4558	6160	7000

4.6 Análisis de resultados

$$DQO_{\text{prom influyente}} = 1502 \text{ mg/l}$$

$$QQO_{\text{prom efluente}} = 57 \text{ mg/l}$$

$$\text{Eficiencia de remoción total} = \frac{DQO_{\text{entrante}} - DQO_{\text{salida}}}{DQO_{\text{entrante}}} = \frac{1502 - 57}{1502} = 95\%$$

❑ Se graficaron los resultados (*Cuadro 4.2*) de la medición del DQO (*Figura 4.15*)

Detectando los siguientes puntos:

➤ La eficiencia anaerobio. El reactor anaerobio tiene una eficiencia de remoción promedio de DQO de 38 %, y no entre 70-85 % como corresponde a este tipo de reactores. Deduciendo entonces que trabajaría mejor como un sedimentador primario, o lograr incrementar la eficiencia de este proceso unitario mediante una fuente de inoculación anaerobia (de lodo granular). Cabe mencionar que en un reactor anaerobio la producción de biomasa es baja en relación al sustrato consumido por lo que es importante la retención de biomasa.

Eficiencia aerobio. Por sus características el proceso utilizado es de aireación prolongada. Los reactores aerobios manejándolos como una sola unidad tiene una eficiencia de remoción promedio de DQO de 92 %. La eficiencia se logra desde el reactor aerobio 1ª fase. Esto se explica debido a dos cosas:

1. La planta está trabajando con un gasto menor de 2.5 l/s con respecto al gasto de proyecto de 5.5 l/s
 2. El tanque estabilizador de lodos del proyecto original se acondicionó como un reactor aerobio 3^a fase convirtiendo el sistema de tratamiento convencional a un tratamiento de aireación extendida.
- Puntos críticos en el muestreo. Las elevaciones o depresiones en la curva de DQO del influente indican las diferentes concentraciones de DQO durante un día en la planta de tratamiento. Puede añadirse que las pendientes pronunciadas en esta curva indican que no hay una buena homogenización de las aguas residuales del influente.
 - La eficiencia en los tres reactores aerobios son similares. Como se mencionó anteriormente la planta trabaja con un gasto menor al de proyecto, y por ende las curvas de remoción de DQO correspondientes son paralelas. Es importante resaltar que conforme la planta vaya incrementando su gasto de influente, estas curvas de los procesos finales se desfazarán removiendo así cada proceso una parte de la materia orgánica.

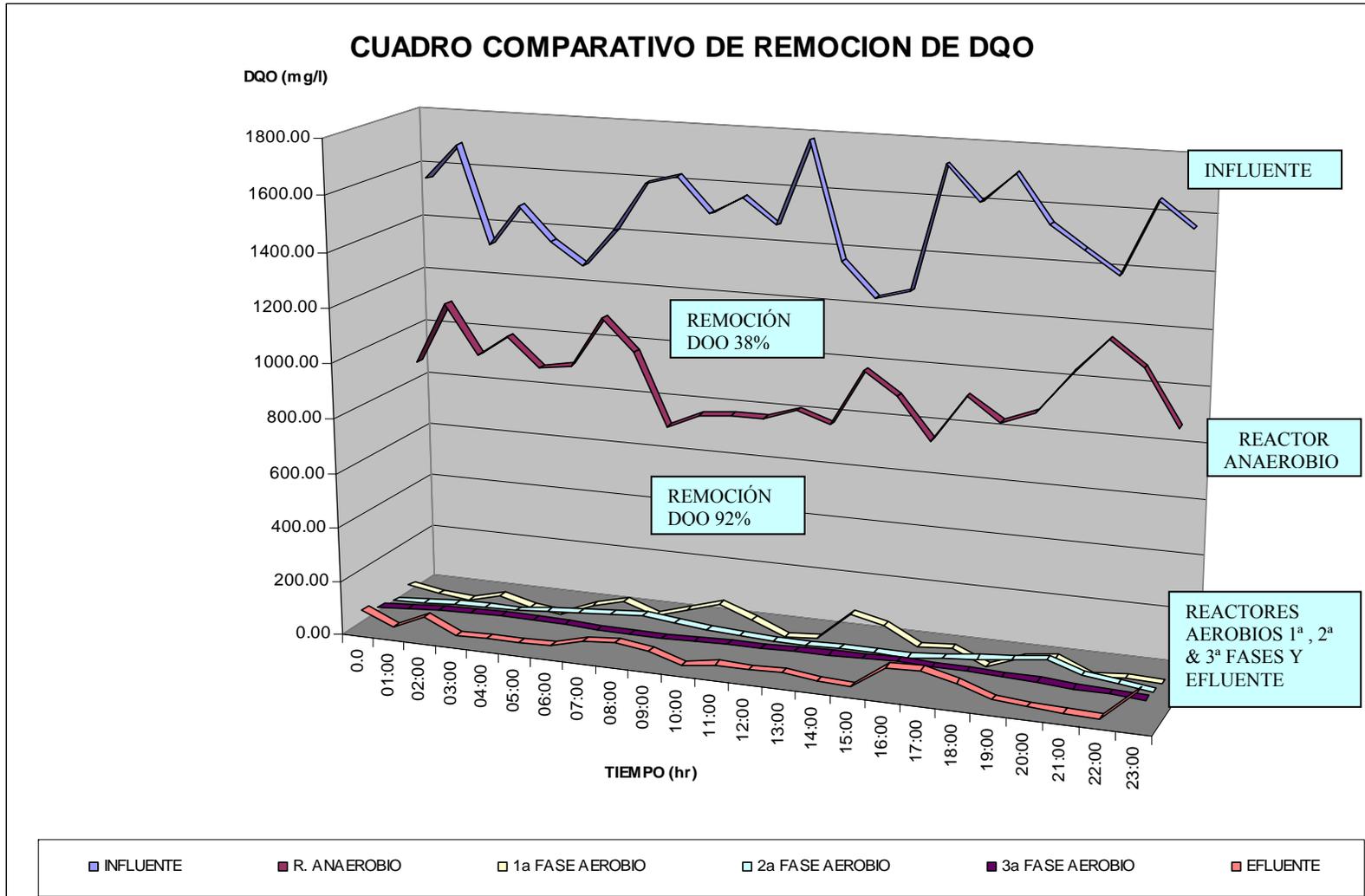


Figura 4.15 Remoción de DQO

❑ Comparación de datos obtenidos con la bibliografía

Utilizando la información de los *cuadros 4.1 & 4.2* podemos tener los parámetros siguientes para efectuar una comparación con la bibliografía.

Cuadro 4.4 Datos de bibliografía y parámetros obtenidos

Tipo de proceso	Θ_c	F/M	VL	Θ	SSLM	Qr/Q	RF	η
Aireación prolongación	20-30	0.05- 0.15	0.16- 0.40	18-24	3000- 6000	0.75- 1.50	CM	75-90
Planta chabacano	20	0.13	0.49	33	3200	0.93	CM	95

Θ_c tiempo medio de residencia celular, en días

F/M relación sustrato biomasa en kg. DQO/kg SSLM*día

VL carga volumétrica en kg DQO/ día

Θ tiempo de retención hidráulico en el tanque de aireación en hr

SSLM sólidos suspendidos en licor mezclado en mg/l

Qr/Q razón de recirculación

RF régimen de flujo

η eficiencia DQO en %

Con las adecuaciones realizadas se logró incrementar la biomasa en los reactores aerobios (donde en un principio era muy joven y reducida) viéndolo en el valor de sólidos suspendidos en licor mezclado mg/l (Cuadro 4.4). Manejando esto como una causa, el efecto producido por lo tanto es el aumento en la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales Chabacano.

- ❑ Comparación de datos obtenidos con las **NOM-001-SEMARNAT-1996 & NOM-003-SEMARNAT-1996**

Cuadro 4.5 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos NOM-001-SEMARNAT-1996

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano(C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40
Materia Flotante (3)	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te
Sólidos Sedimentables (m/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁵	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60

Cuadro 4.6 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos NOM-003-

SEMARNAT-1996

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helmintos (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	5	15	30	30

Cuadro 4.7 Parámetros en la planta de tratamiento de aguas residuales Chabacano

	Temperatura °C (1)	Materia Flotante (3)	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Sólidos Suspendedos Totales mg/l	Demanda Química de Oxígeno
PLANTA CHABACANO EFLUENTE	17- 20	NULO	CASI NULO	30	50

Considerando en esta parte los límites permisibles que establece la normatividad para la disposición de las aguas tratadas en aguas y bienes nacionales y su reúso en servicios públicos, el efluente de la planta Chabacano no excede los valores de los parámetros que determinan la calidad del agua tratada.

❑ Consideraciones complementarias

El agua contaminada produce alteraciones en la productividad agrícola y es un riesgo para la salud. La importancia de la calidad del agua radica en que su uso local debe cubrir todos los usos previstos en su aprovechamiento, mismos que se han reconocido jurídicamente: riego, mantenimiento de la biota, navegación, recreación, siendo los dos primeros los más importantes.

Adicionalmente es necesario indicar que a los problemas usualmente descritos asociados con la calidad del agua que se vierte al lago se tienen evidencias de que se está induciendo flujo de agua (contaminada) del lago hacia los pozos de extracción de agua para fines de abasto a la población, lo que está resultando en una fuente de contaminación potencial a los recursos hídricos subterráneos y de riesgo a la comunidad que la usa.

Para poder iniciar la limpieza de la zona lacustre se debe hacer un trabajo interinstitucional ya que se deben retirar los asentamientos irregulares en la zona chinampera, clausurar los desalojos de aguas residuales y el vertido de basura de los habitantes de las riveras. De igual forma, es necesario establecer un sistema de colecta y/o tratamiento de las aguas residuales que actualmente vierten a los canales de Xochimilco.

El tratamiento deberá reducir la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, eliminación de microorganismos patógenos y de nutrimentos, aceites y grasas y metales pesados. Se busca que las plantas de tratamiento de aguas residuales sean de bajo costo de construcción y de mantenimiento.

4.7 Trabajos posteriores

Con la finalidad de mejorar la infraestructura de la planta de tratamiento se realizaron después del estudio de calidad algunas mejoras que se enlistan a continuación.

- Cambio de tubería de PVC por tubería de polietileno de alta densidad para el suministro de aire.



Figura 4.16 Tubería acero oxidada por la generación de ácidos en los lodos de las aguas



Figura 4.17 Tendido de tubería de polietileno con sus muertos

- Cambio difusores de plástico ranurado de burbuja grande por difusores de membrana de burbuja fina.



Figura 4.18 Tubería de polietileno con sus abrazaderas para colocar los difusores



Figura 4.19 Tubería de polietileno con sus difusores

- Soporte y base para la introducción de cajas para la fijación de biomasa para que actúe como un filtro aerobio



Figura 4.20 Soportes y base de rejilla Irving donde yacerán las cajas.



Figura 4.21 Vista frontal de montaje de las cajas sobre la rejilla Irving.



Figura 4.22 Vista de planta del montaje de las cajas.



Figura 4.23 Montaje terminado de las cajas.

Tren de tratamiento resultante posterior.

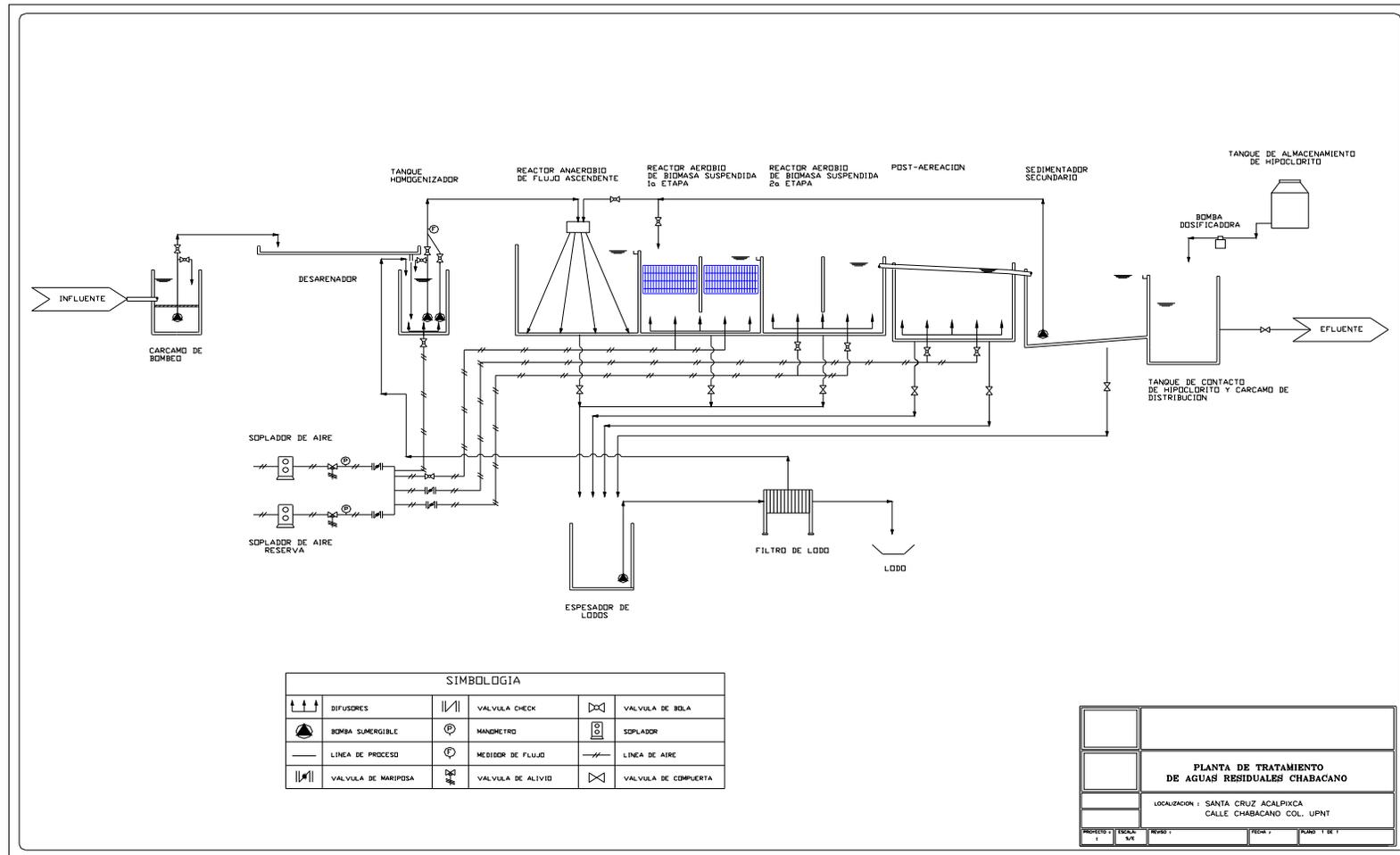


Figura 4.24 Tren de tratamiento resultante posterior.

- Adquisición de equipo de laboratorio sujeto a lo utilizado en la UAM Iztapalapa.



Figura 4.25



Figura 4.26

CAPITULO V.

CONCLUSIONES

- El control sobre la disposición del agua residual en Xochimilco, por sus características geológicas e hidrológicas, es vital para la recarga de los acuíferos y para la actividad agrícola mediante el sistema de chinampas.
Las actividades mas representativas en la Delegación política son el sector comercio y el sector servicios.
Cuenta con instalaciones educativas, de recreación, deportivas, de abasto, de salud, etc.
- La planta fue construida de acuerdo con un proyecto inicial que presenta modificaciones.
Da servicio a la Unidad Popular Nueva Tenochtitlán por lo que el agua residual es de tipo doméstica.
Analizamos los elementos que integran las etapas del tratamiento para comprender su desempeño y así evaluar su funcionamiento.
- El diagnóstico se basa principalmente en reconocimiento en sitio.
La planta tiene deficiencias con respecto a un tratamiento convencional: por un lado carece de algunos elementos y la falta en marcha de otros.
A la Unidad Departamental de Alcantarillado y Desazolve (UDA y D) las actividades de introducción y mantenimiento de la red de alcantarillado en la demarcación le demandan gran parte de los recursos humanos y materiales de que dispone, lo que trae como consecuencia que no se atiendan oportunamente los requerimientos operativos de las PTAR.
La operación de la PTAR no ha sido la adecuada debido a la falta de personal capacitado.
El efluente no cumple con los límites máximos permisibles señalados por las normas oficiales mexicanas y aplicables.

- Se harán los ajustes necesarios como medidas inmediatas en las unidades de los procesos para incrementar la eficiencia en la planta.
Se propone capacitar al personal disponible y proveerlo de lo elemental junto con la implantación de las medidas de seguridad e higiene para ejecutar sus funciones.
Se propone crear una unidad departamental que atienda las necesidades de la planta.
- Después de realizar modificaciones a la infraestructura se realizó una nueva evaluación del funcionamiento encontrando en los valores obtenidos de los parámetros de calidad que se incrementó grandemente en 95 % la eficiencia total.
El propósito principal de las mejoras en la PTAR sobre la eficiencia es atender a las necesidades en materia de salud y medio ambiente.
Con el mismo procedimiento podremos analizar la operación de las otras plantas que opera la Delegación.

ANEXO I

MANUAL DE LABORATORIO

El presente manual tiene como finalidad proporcionar al personal de la planta del laboratorio de la planta de tratamiento de aguas residuales Chabacano, una guía básica para la realización de los análisis fisicoquímicos que servirán para el control de la operación de la PTAR.

El manual se divide en tres secciones: la primera corresponde a una serie de recomendaciones acerca de la seguridad dentro del laboratorio y a la correcta toma y conservación de muestras; la segunda sección está enfocada a las técnicas para la determinación de los parámetros fisicoquímicos, los cuales aplican a muestras de agua y lodos. Finalmente, la tercera sección incluye los parámetros más importantes en la caracterización de lodos.

1 El laboratorio

1.1 Seguridad en el laboratorio

Entre los accidentes más comunes en el laboratorio se encuentran: quemaduras con objetos calientes (estufas, muflas & parrilla de DQO), quemaduras por ácidos y bases, ingestión de agentes tóxicos y cortaduras. Para evitar este tipo de accidentes, el personal de laboratorio deberá tomar las debidas precauciones al trabajar en el laboratorio.

A continuación se enumeran algunas recomendaciones básicas de seguridad:

- Uso obligatorio de bata siempre que se encuentre en el laboratorio.
- Dentro del laboratorio queda prohibido comer, fumar o usar cualquier tipo de audífonos de aparatos de sonido portátiles.
- Utilizar guantes de plástico o nitrilo en buen estado cuando se trabaje con ácidos o bases a fin de evitar quemaduras.

- Utilizar guantes de asbesto y pinzas apropiadas para manipular el material en la estufa y mufla.
- Nunca pipetear aguas residuales y/o reactivos líquidos con la boca; utilizar siempre pera de succión o propipeta.
- Cuando se trabaje con sustancias que desprendan polvos, es necesario utilizar mascarillas para evitar inhalarlos.
- En el caso de trabajar con ácidos o bases concentrados la manipulación de estos reactivos se realizará dentro de la campana de extracción. Para dicho trabajo el personal deberá contar con guantes y lentes de seguridad.
- En caso de quemadura por ácido, limpiar el exceso con un papel absorbente, después enjuagar con agua abundante y aplicar una solución de bicarbonato de sodio, usando dos cucharadas soperas por litro.
- En caso de quemadura con base, secar de inmediato el exceso y aplicar una solución de ácido bórico al 20% (200g en un litro).
- Las mesas de trabajo deben estar libres de materiales que por descuido se puedan romper y derramar.
- Nunca manipular los reactivos directamente con las manos.
- No se deben desechar residuos peligrosos en el drenaje, ácidos y bases concentrados, lodos, reactivos, etc. Se deben almacenar hasta que puedan ser dispuestos de una forma adecuada.
- Los reactivos suelen ser corrosivos, venenosos, explosivos o inflamables. Por esta razón es importante tener información disponible que indique lo necesario para su adecuado almacenamiento y manejo a fin de minimizar los riesgos de algún accidente.

1.2 Toma y conservación de muestras.

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción de material cuyo volumen sea pequeño como para ser transportados con facilidad y al mismo tiempo debe ser representativa del material de donde procede.

La obtención de una muestra implica que esta no debe deteriorarse o contaminarse antes de llegar al laboratorio. Para asegurar la calidad de la muestra se deben considerar las siguientes precauciones:

- Seleccionar adecuadamente el envase en el cual se va a tomar la muestra. De acuerdo al análisis a realizar.
- Antes de tomar la muestra en el envase de muestreo es necesario lavar este dos o tres veces con el agua que se va a analizar.
- Para reducir al máximo la posible biodegradación, la muestra se debe mantener a la menor temperatura.
- Identificar cada envase colocando una etiqueta con la información necesaria.

No existe un método de preservación generalizado, ya que de acuerdo con el tipo de análisis a realizar se tendrá un procedimiento de preservación de la muestra.

2 Parámetros fisicoquímicos

2.1 pH y alcalinidad.

2.1.1 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es una de las pruebas más importantes utilizada en el análisis químico del agua. La temperatura afecta a la medida de pH. Es importante indicar la temperatura a la que se ha tomado el pH.

Para el adecuado manejo de las muestras se deben considerar las siguientes características:

- Las muestras pueden ser colectadas en recipientes de vidrio o plástico.
- Las muestras deben ser analizadas de inmediato, en caso contrario el tiempo máximo de almacenamiento es de 2 hrs.

El material a utilizar:

- Potenciómetro
- Soluciones tampón de pH 4 y 7
- Vaso de precipitados de 50 ml
- Agua destilada

Procedimiento:

1. Calibrar el potenciómetro con las soluciones buffer.
2. Introducir el electrodo en la muestra a analizar y medir pH.
3. Enjuagar con agua destilada y medir la muestra siguiente.

2.1.2 Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad de un agua para neutralizar ácidos, normalmente se expresa como mg/L de carbonato de calcio.

Para el adecuado manejo de las muestras se deben considerar las siguientes características:

- La muestra puede ser colectada en recipientes de vidrio o plástico
- La cantidad de muestra debe ser de 200 ml como mínimo
- La muestra puede ser preservada en frío a 4° C
- La muestra no debe ser almacenada por más de 24 hrs.

El material a utilizar:

- Pipeta volumétrica de 25 ml
- Vaso de precipitados de 100 ml
- Propipeta de hule
- Bureta de 50 ml
- Soporte universal
- Potenciómetro
- Soluciones buffer de pH de 7.0 y 4.0
- Soluciones de H₂SO₄ 0.02 N
- Pinzas para bureta
- Piseta con agua destilada
- Barra magnética de agitación
- Agitador magnético

Procedimiento:

1. Calibrar el potenciómetro con las soluciones buffer
2. Tomar 25 ml de la muestra y medir pH inicial
3. Titular con H₂SO₄ 0.02 N agitando suavemente la muestra hasta alcanzar un valor de pH a 5.75 y anotar el volumen de ácido consumido
4. Continuar con la titulación hasta alcanzar el pH de 4.30, nuevamente anotar el volumen de ácido consumido (este volumen debe incluir el volumen gastado para alcanzar un pH de 5.75)
5. Calcular la alcalinidad con la siguiente fórmula

$$\text{Alcalinidad} = \frac{50000 * N * \text{Vol.}}{\text{ml de muestra}}$$

donde

N = Normalidad del ácido utilizado

Vol. = Cantidad de ácido utilizado en ml para alcanzar pH 4.30

La alcalinidad se reporta en mg de carbonato de calcio (CaCO₃/L) por litro

2.1.3 Determinación de la relación de alcalinidades (α)

Durante el arranque de los reactores anaerobios, el parámetro de control que indica el momento en el cual se debe de incrementar o suspender la carga orgánica es la relación de alcalinidades (alfa, α). La relación α se define como el cociente de la alcalinidad a 5.75 entre la alcalinidad a 4.30 o alcalinidad total.

La alcalinidad útil para fines de amortiguamiento del pH es la debida a los bicarbonatos, medida a 5.75; la alcalinidad debida a los AGV's, mayormente medida entre pH's 5.70 y 4.30, es una forma indirecta de medir su concentración, la cual se debe mantener lo mas baja posible, para evitar problemas de inhibición a las bacterias anaerobias.

$$\alpha = \frac{\text{ml de ácido consumido a pH 5.75}}{\text{ml de ácido consumido a pH 4.30}}$$

2.2 Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros que más influye en la velocidad de una reacción

El material a utilizar:

- Termómetro de vidrio o potenciómetro con sensor de temperatura
- Vaso de precipitados

Procedimiento:

La parte sensible del termómetro se debe sumergir en el agua a tal profundidad en donde se obtenga la temperatura representativa

2.3 Determinación de sólidos

La materia suspendida o disuelta contenida en un agua residual recibe el nombre de sólidos, de los cuales se pueden distinguir tres categorías:

Sólidos Totales (ST)

Incluye los sólidos suspendidos más los sólidos disueltos

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Es la porción retenida por el filtro

Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Es la porción que pasa a través del filtro

Dentro de estas tres categorías hay dos subdivisiones:

Fijos: aquellos residuos que quedan después de la ignición de la muestra durante un tiempo a 550 ° C.

Volátiles: corresponde a la pérdida de peso de la muestra durante la ignición a las condiciones anteriores.

La determinación de los sólidos es una prueba indispensable para la operación de los reactores biológicos, pues indirectamente proporciona la cantidad de materia orgánica de la concentración bacteriana en el reactor y residuos.

Manejo de las muestras:

- Almacenar las muestras en recipientes de vidrio o plástico
- Preservar las muestras en refrigeración
- Una vez a peso constante, evitar tomar directamente con la mano crisoles, charolas de aluminio o papel filtro

2.3.1 Sólidos Totales

Material:

- Cápsulas de porcelana 70 ml
- Balanza analítica
- Mufla
- Estufa de secado
- Pinzas para crisol
- Pipetas volumétricas y graduadas
- Piseta
- Propipeta de hule
- Desecador
- Guantes de asbesto

Procedimiento:

1. Para poner a peso constante las cápsulas de porcelana, colocarlas limpias en la mufla a 550 °C por una hora. Transferirlas con pinzas a la estufa a 105 °C durante 15 min y después colocarlas al desecador para permitir que se enfríen en 15 min. Pesar cada cápsula en la balanza analítica y anotar su peso (P_1)
2. Se evapora una muestra bien mezclada de 25 ml en una cápsula de porcelana a peso constante en un horno a 103-105 °C durante un día. Transferir las cápsulas al desecador

durante 15 min y pesarlas registrando su peso (P_2). El aumento de peso sobre la cápsula vacía representa los sólidos totales.

3. Para la determinación de la fracción volátil y fija de la muestra, el residuo obtenido después del secado a 103-105 °C se incinera en una mufla a una temperatura de 550 °C durante 15 min. Llevar después las cápsulas a la estufa a 103 °C durante 15 min y por ultimo 15 min en el desecador para que se enfríen y anotar su peso (P_3) Los sólidos remanentes representan los sólidos totales fijos, mientras que la pérdida de peso por ignición representa los sólidos totales volátiles.

Cálculos:

$$ST \text{ (mg/L)} = \frac{P_2(\text{g}) - P_1(\text{g}) \times 1000 \times 1000}{\text{Vol. muestra (ml)}}$$

$$STF \text{ (mg/L)} = \frac{P_3(\text{g}) - P_1(\text{g}) \times 1000 \times 1000}{\text{Vol. muestra (ml)}}$$

$$STV \text{ (mg/L)} = \frac{P_2(\text{g}) - P_3(\text{g}) \times 1000 \times 1000}{\text{Vol. muestra (ml)}}$$

2.3.2 Sólidos Suspendidos

Material:

- Papel filtro Whatman GF/A 5.5 cm
- Matraz kitazato
- Crisol Gooch
- Alargadera de hule o embudo millipore
- Cápsulas de porcelana 70 ml
- Bomba de vacío

Procedimiento:

1. Colocar el papel filtro de fibra de vidrio en el crisol Gooch
2. Poner a peso constante, se coloca el crisol con el papel filtro a la mufla a 550 °C durante 30 min. Transferir los crisoles a la estufa por 15 min y posteriormente ponerlos en el desecador por 15 min para su enfriamiento y anotar su peso (P_1)
3. Colocar el crisol en la alargadera sobre el kitazato, aplicar vacío y humedecer las orillas con agua destilada para fijar el papel
4. Si la muestra es lodo, filtrar 10 ml perfectamente homogénea

5. Si la muestra es líquida, filtrar 25 ml perfectamente homogénea; en ambos casos distribuir la muestra en toda la superficie del papel
6. Transferir los crisoles con la muestra a la estufa y secarlos a 105 °C por una hora aprox., dos o tres horas para muestras de lodos
7. Enfriar los crisoles en desecador 15 min y pesarlos. Registrar su peso (P₂)
8. Meterlos luego a la mufla a 550 °C durante 30 min
9. Pasarlos a la estufa 15 min
10. Trasladarlos al desecador para enfriar
11. Pesarlos y registrar el peso (P₃)

Cálculos:

$$\text{SST (mg/l)} = \frac{P_2(\text{g}) - P_1(\text{g}) \times 1000 \times 1000}{\text{Vol. muestra (ml)}}$$

$$\text{SSF (mg/l)} = \frac{P_3(\text{g}) - P_1(\text{g}) \times 1000 \times 1000}{\text{Vol. muestra (ml)}}$$

$$\text{SSV (mg/l)} = \frac{P_2(\text{g}) - P_3(\text{g}) \times 1000 \times 1000}{\text{Vol. muestra (ml)}}$$

Una variante al uso de los crisoles, es la de utilizar un equipo filtrante Millipore, en donde el dispositivo de soporte de la membrana filtrante y el vaso que se coloca sobre el hacen la función de crisol Gooch. En tal caso, el filtro a peso constante se coloca sobre el soporte con unas pinzas; se pone el vaso se asegura. Se acciona la fuente de vacío y se vierte lentamente la muestra. Cuando la filtración se ha terminado, se retira el vaso y se retira el filtro con la muestra por medio de unas pinzas, para depositarlo en una cápsula de aluminio o porcelana, la cual servirá como contenedor del filtro a su paso por la cadena de determinación de sólidos.

2.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es ampliamente utilizada como una forma de medir la carga contaminante de desechos domésticos e industriales

Manejo de muestras:

- Analizar la muestra de inmediato
- Las muestras pueden contenerse en recipientes de vidrio o plástico

Material:

- Tubos de borosilicato de 20 x 150 mm con cuello roscado y tapa recubierta de teflón
- Embudo de filtración rápida

- Estufa a 150°C
- Bureta
- Matraces volumétricos de 100 ml
- Pipetas volumétricas de 3 y 5 ml
- Matraces Erlenmeyer de 50 ml
- Piseta
- Propipeta de hule
- Espátula
- Gradilla metálica
- Goggles
- Guantes de asbesto

Soluciones:

- Ácido sulfúrico con plata. Añadir 10.12 g de Ag_2SO_4 , ya sea en cristales o en polvo por cada litro de H_2SO_4 concentrado. Permitir su disolución de uno a dos días a temperatura ambiente
- Solución estándar de dicromato de potasio 0.25 N. Disolver 12.25 g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, previamente secado a 103°C por dos horas, en 500 ml de agua destilada con 167 ml de H_2SO_4 concentrado y posteriormente aforar a 1000 ml
- Solución indicadora de ferroína. Disolver 1.485 g de 1,10-fenantrolina monohidratada y 695 mg de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en 80 ml de agua destilada. Aforar a 100 ml.
- Solución FAS (sulfato ferroso amoniacal). Disolver 39.2 g de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en 600 ml de agua destilada. Agregar cuidadosamente 20 ml de H_2SO_4 concentrado, enfriar y aforar a 1000 ml con agua destilada. Esta concentración tiene 0.1N, su concentración exacta se conoce cuando se titula el blanco frío, el cual se corre junto con las muestras.
- Sulfato mercúrico (HgSO_4)

Procedimiento:

1. Como medida de precaución se recomienda utilizar guantes y goggles cuando se adicionen los reactivos que contienen H_2SO_4
2. Lavar previamente los tubos y tapones nuevos a utilizar con H_2SO_4 al 20% para evitar contaminación de las muestras. Para análisis subsecuentes, lavar los tubos con agua de la llave y agua destilada, secar perfectamente antes de adicionar los reactivos
3. En un tubo de 20 x 150, adicionar 5 ml de muestra o de su dilución. Si se desconoce completamente la DQO de la muestra, se prueban diluciones 1:100 y 5/100; la dilución más recomendable será aquella que no cambie la coloración del dicromato. Se propone un “blanco caliente”, el cual se adiciona agua destilada en lugar de la muestra
4. Agregar 3 ml de dicromato de potasio. Con la punta de una espátula agregar una pequeñísima porción de sulfato mercúrico (montículo de 1 a 1.5 mm de diámetro).

5. Adicionar cuidadosamente 7 ml del reactivo de ácido sulfúrico, permitiendo que resbales por las paredes internas del tubo. Si es necesario, colocar el tubo en un baño de agua fría para disipar el calor de la reacción
6. Cerrar herméticamente los tubos, invertir cada tubo varias veces para mezclar y verificar que no hay fuga
7. Colocar los tubos en la gradilla y llevarlos a la estufa a 150°C y digerir durante dos horas
8. Preparar un tubo adicional que servirá como blanco frío para conocer la concentración exacta de la solución FAS. Este tubo se prepara con agua destilada en lugar de muestra simultáneamente a las muestras y se mantiene bien tapado a temperatura ambiente
9. Dejar enfriar los tubos a temperatura ambiente, retirar las tapas y verter su contenido en los matraces
10. Enjuagar el tubo con un volumen de agua destilada igual a la muestra hasta eliminar residuos de dicromato de potasio y adicionarla al matraz
11. Agregar dos gotas del indicador de ferroína y titular con la solución FAS agitando constantemente, hasta que vire del indicador de azul verdoso a café rojizo

Cálculos:

Para conocer el valor de DQO total de la muestra

La normalidad de la solución FAS se calcula una vez titulado el blanco frío de la manera siguiente:

$$N_{FAS} = \frac{(\text{ml de solución de dicromato})(N_{\text{dicromato}})}{\text{ml de solución FAS gastados para titular el blanco frío}}$$

La DQO expresada en mg O₂/l se calcula a partir de la siguiente formula:

$$\frac{(\text{ml FAS}_{bc} - \text{ml FAS}_{\text{muestra}})(N_{FAS})(8)(1000) \times \text{dilución}}{\text{ml muestra}}$$

donde:

ml FAS_{muestra} volumen de la solución FAS empleado para titular la muestra
 ml FAS_{bc} volumen de la solución FAS empleado para titular el blanco caliente
 NFAS normalidad de la solución FAS obtenida al titula el blanco frío
 8 peso equivalente del oxígeno
 1000 factor para convertir ml a litros

3 Caracterización de lodos

Índice volumétrico de lodos y velocidad de sedimentación

El IVL es una prueba que evalúa la capacidad de sedimentación o compactación de un lodo, se define como el volumen que ocupa un gramo de lodos después de sedimentar durante un cierto tiempo, y sus unidades son ml/ g SST.

La velocidad de sedimentación indica la rapidez con la que sedimenta el lodo y se expresa en m/h.

Manejo de muestras:

Cuando se tengan muestras de lodo aerobio, se recomienda analizarlas inmediatamente después de haber sido obtenidas, ya que de ser almacenadas cambiarán sus propiedades al agotarse el oxígeno disponible. En cuanto a las muestras de lodo anaerobio, se pueden almacenar durante 6 días. Las muestras se podrán conservar en recipientes de vidrio o plástico y cuando se requieran conservar, se deben mantener en refrigeración.

Índice volumétrico de lodos (IVL)

Material:

- Probeta de vidrio de 250 ml
- Cronometro
- Pipeta despuntada
- Parafilm
- Lámpara portátil
- Hoja de papel milimétrico

Procedimiento:

1. Colocar 50 ml de lodo anaerobio en la probeta de 250 ml y aforar preferentemente con efluente clarificado del propio reactor anaerobio, o bien con agua destilada o de la llave (para el lodo aerobio no se necesita dicha dilución)
2. Tapar la probeta y homogenizar el lodo y el agua invirtiendo 2 veces la probeta suavemente. Evite agitar ya que se introduce aire al lodo y provoca su flotación
3. Colocar la probeta en una superficie plana y registrar el volumen de lodo sedimentado con respecto al tiempo. El tiempo cero corresponde al volumen ocupado por la mezcla de lodo y agua

4. Registrar el volumen de lodos cada 15 segundos durante los primeros dos minutos, cada minuto durante los siguientes 13 minutos y cada cinco minutos durante los últimos 15 minutos
5. Construir una grafica de volumen de lodos sedimentados (ml) contra tiempo (min)

Cálculos:

El IVL se calcula aplicando la siguiente formula

$$\text{IVL} = \frac{\text{Vol. de lodo sedimentado a 30' (ml)}}{\text{Masa de SST en probeta (mg/ml) x ml muestra}}$$

Velocidad de sedimentación

1. Calcular el área transversal de la probeta con que se determinó el IVL
2. Con una regla trazar una recta tangente a la curva en donde la pendiente es más pronunciada, que es donde se tiene mayor velocidad de sedimentación
3. Obtener la pendiente (cm^3/min) mediante la relación $m = y/x$, en donde X y Y son los puntos en donde la recta trazada intersecta al eje Y y el eje X
4. La pendiente de esta recta corresponde a la velocidad máxima de sedimentación bajo las condiciones de la prueba

Las unidades de cm^3/min una vez divididas por el area transversal de la probeta en cm^2 y aplicando factores de conversión se reportan en m/h

ANEXO II

MANUAL DE OPERACION

El manual de operación describe los métodos actuales para operar adecuadamente las instalaciones, y actualizar esta información conforme se realicen cambios en los procedimientos de operación y mantenimiento de la PTAR Chabacano es importante para que continúe siendo un documento básico de apoyo.

1 Proceso de tratamiento

Como fase inicial del pretratamiento el agua residual es captada a gravedad en el **cárcamo de llegada** donde además son retenidos los sólidos grandes por medio de una rejilla Irving colocada a la mitad de la profundidad del cárcamo, evitando que éstos lleguen al fondo donde se encuentran las bombas sumergibles y las atasquen. Los sólidos retenidos en su mayor parte son: plásticos, pedazos de madera, etc. y flotan y pueden echarse en bolsas y dispuestos en el camión de basura. Los periodos de limpia estarán en función de la cantidad de sólidos que arrastre el agua residual.

Posteriormente el agua residual será bombeada de 2-3 L/s desde el cárcamo de llegada a través del **canal desarenador**, donde se eliminará el material fino de tipo inorgánico, el cual puede dañar el equipo mecánico y acumularse en etapas posteriores del proceso. Los sólidos retenidos en el canal desarenador serán removidos manualmente del fondo de su contenedor en forma periódica y dispuestos según convenga. Los periodos de limpia estarán en función de la cantidad de material fino que arrastre el agua residual.

Debido a que el flujo y concentración del agua residual es muy variable, se dispone del **tanque homogenizador** que operara bajo el principio de descarga fija y nivel de operación variable. Este tanque funciona con una bomba sumergible alojada en el fondo y que está

destinada a transferir la corriente homogenizada hacia el proceso biológico anaerobio a 2-3 L/s. Con el fin de asegurar un mezclado se le suministrará aire proveniente del soplador por medio de una tubería y por lapsos de tiempo cortos a fin de evitar un incremento del oxígeno disuelto antes del proceso anaerobio. Con el fin de evitar malos olores la homogenización será operada con bajo nivel para disminuir el tiempo de residencia y sobretodo limpiar el fondo cuatro veces al año de material orgánico.

El agua transferida por la bomba desde el tanque homogenizador se introducirá y distribuirá por el fondo del **reactor anaerobio** por medio de las tuberías que están conectadas a la caja distribuidora. De esta manera el agua tendrá un flujo ascendente. El reactor aerobio cuenta con un sistema de campanas de material plástico las cuales tienen la función de captar el biogas generado y los malos olores. Los lodos producidos por el proceso anaerobio serán evacuados una vez al año por un camión cisterna.

El efluente del reactor anaerobio pasará por gravedad al tratamiento biológico de **lodos activados** (300 ml/L en sólidos suspendidos) en aireación extendida. El oxígeno (2 ppm) suministrado para el mezclado y la oxidación biológica, será suministrado por el sistema de sopladores rotatorios y ramal de tuberías existentes con difusores en el fondo de los tanques de aireación. El licor mezclado del tanque de aireación pasará por gravedad hacia el **sedimentador secundario**, donde se separará la biomasa y el efluente clarificado. Parte del lodo separado será recirculado hacia el tanque de aireación por medio de una bomba sumergible para mantener constante la relación F/M dentro del reactor mientras que una fracción de este lodo se purgará para su estabilización en el **digestor de lodos**, el cual será aireado por los mismos sopladores que suministran aire al reactor aerobio. Los lodos producidos se dispondrán finalmente en Cabeza de Juárez, Iztapalapa como se viene haciendo con el azolve.

Posteriormente el efluente del clarificador secundario será conducido a gravedad hacia un **tanque de contacto** de cloro (0.5ppm) para la desinfección.

El agua tratada finalmente se verterá a la zona canalera para su recarga.

2 Normatividad

Se establece que la calidad del agua tratada deberá cumplir con los valores de la NOM-001-SEMARNAT 1996 & NOM-003-SEMARNAT 1997. El cumplir con los límites de descarga es responsabilidad del personal administrativo de la Delegación Xochimilco y del personal de operación y mantenimiento de la planta.

3 Personal técnico

El personal operativo de la planta de tratamiento estará conformado de la siguiente forma:

- Un ingeniero responsable de la PTAR, el cual reportará al jefe de la UDA y D (Unidad Departamental de Alcantarillado y Desazolve. Debe manejar los fundamentos de los procesos de tratamiento de aguas residuales, en particular de los procesos biológicos y tener la capacidad para tomar decisiones; asimismo, debe poseer destreza en el laboratorio y capacidad de interpretación de los resultados de los análisis.
- Un operador, el cual reportará al ingeniero responsable. Debe tener conocimientos básicos de electricidad, mecánica y laboratorio.

4 Seguridad

Se recomiendan las siguientes reglas generales para la seguridad del personal de la planta

- Todos los accidentes o lesiones deben ser reportados.
- Deben usarse goggles para protección de los ojos cuando exista posibilidad de impacto a exposición a chorros de agua.
- Usar el tipo de guantes para el trabajo correspondiente (de carnaza, de goma, de Asbesto, de nitrilo, etc).
- Se debe usar protectores para los oídos cuando se trabaje cerca de equipos que generen un alto nivel de decibeles, como los sopladores.
- Se debe contar con salvavidas para flotación y chalecos colocados en puntos estratégicos.
- En la PTAR debe existir un equipo de primeros auxilios que permita la atención de heridas leves y graves.
- Para prevenir lastimaduras de la cintura se sugiere el uso de una faja de carga por cada empleado
- El casco debe ser utilizado cuando exista el riesgo de golpearse la cabeza con algún objeto punzante o rígido como las tuberías aéreas.
- La maquinaria en operación presenta un riesgo potencial; por esta razón las flechas rotativas, coples, transmisiones y bandas deben ser adecuadamente protegidos con guardas a fin de prevenir el contacto con la parte en movimiento.
- Para reducir enfermedades e infecciones el personal de la planta deberán bañarse después del turno y consumir alimentos y bebidas solamente en áreas designadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Delegación Xochimilco. Programa Delegacional de Desarrollo Urbano. México, 2001.
- Departamento de sanidad del estado de Nueva York. Manual de tratamiento de aguas negras. Ed. Limusa-Noriega. México, 1990.
- Metcalf-Eddy. Ingeniería Sanitaria tratamiento, evacuación y reutilización de las aguas residuales. Ed. Labor. Barcelona, 1985.
- Ramalho, R. Tratamiento de aguas residuales. Ed. Reverté. Barcelona, 1993.
- Normas Oficiales Mexicanas :NOM-001-ECOL-1996, NOM-002-ECOL-1996, NOM-003-ECOL-1997 & NOM-004-ECOL-2002

Publicación gratuita elaborada por la Comisión Nacional del Agua; Gerencia de Servicios a usuarios; Subdirección General de Administración del Agua; julio de 2000.
- CONCASA. Manual de operación y mantenimiento (Promeco Boehringer-Ingelheim). México, 1993.
- Cesar Valdez Enrique . Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Fundación ICA. México 2003.
- Pacheco José, Magaña Aldo. Artículo de Investigación “Arranque de un reactor anaerobio”. FIUADY, 2003.
- IBTech. Manual de laboratorio (Promeco Boehringer-Ingelheim). México, 2002
- Flores Torres Carlos Alberto. Tesis Tratamiento anaerobio de aguas residuales municipales. UNAM. México, 2001.