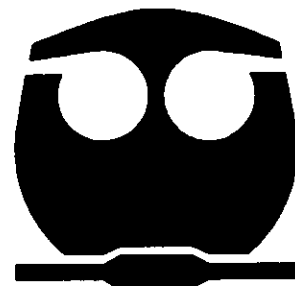


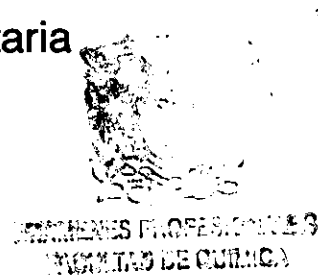


117



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

Puesta en operación de una Planta de Tratamiento de Aguas
Residuales en Ciudad Universitaria



TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA
ANTONIO PÉREZ QUIROZ

MÉXICO, D.F.

2000



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.

Jurado asignado:

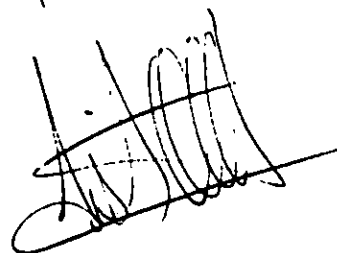
| | |
|--------------|-------------------------------------|
| Presidente | Ing. Torres Barrera Rodolfo |
| Vocal | M en C. López Martínez José Luis |
| Secretario | Dr. Noyola Robles Adalberto |
| 1er Suplente | M en I. Sámano Castillo José Sabino |
| 2o Suplente | Dr. Durán Moreno Alfonso |

Tema desarrollado en: Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Asesor: Dr. Adalberto Noyola Robles



Supervisor Técnico: M en C. Luis Santiago Ortega Charleston



Sustentante: Antonio Pérez Quiroz



Muchas personas han participado y han favorecido que yo lograra llegar a este momento. A ellas les quiero expresar lo que siento, aunque las palabras no me alcancen para decirlo de forma adecuada... pero lo intentaré.

A mi familia...ustedes me han dado muchas enseñanzas y me ha hecho lo que soy.

A los esfuerzos y apoyo de mis padres por lograr un mejor futuro para mí. **Antonio** que me has enseñado mucho con tu ejemplo, más de lo que crees. **María de la Paz Consuelo** por ser una gran aliada y amiga. ¡GRACIAS PAPAS!

Adrián por tu compañía, por ser mi primer alumno, por ser como eres ... por estar. ¡GRACIAS HERMANO! ... además ... ¡GRACIAS POR EMPASTAR ESTA TESIS!

A mis abuelos (Cointa Pelayo, María de la Paz Consuelo Marrón, Julio Rogelio Quiroz y Ambrosio Pérez) y a mi tía abuela Matilde Moreno, por todo lo que lograron transmitirme de su experiencia en la vida. Lástima que partieron antes de que llegara este momento, pero sé que están cerca de mí siempre.

A mis tíos, tías, primos y primas por su presencia, enseñanzas, ejemplo, apoyo... por todo lo que me han mostrado de la vida. En especial al Dr. en F. Julio Francisco Quiroz, al Ing. Eduardo Marrón, a la Lic. Aurora Marrón Orozco, a la Lic. Estela Morante y Dr. en A. Fernando Pérez.

A los amigos, la familia que cada uno de nosotros elegimos: Jorge, Lalo, Ismael, Lulú, Paco, Jair, Clava, Carmina, Tatanka, Rina, Iliana, Aurora, Sandunga, Hildation, Fabián, Pato, Paola, Mónica, Eric, Alejandro, Teodoro ... Ustedes son muy importantes para mí, miles de ocasiones tuve ganas de abandonar todo, sentía que se me caía el mundo y ustedes me ayudaron, muchas veces sin notarlo. Ustedes que han sido y son: apoyos, confidentes, cómplices, maestros, ejemplos y mil cosas más. AUNQUE NO LES EXPRESE CUANTO LOS QUIERO ... SIEMPRE ESTÁN EN MI PENSAMIENTO. ¡GRACIAS AMIGOS!

A ti... Que me das amistad, amor, apoyo, me enseñas y aprendes de mí. Siempre estas presente en mi mente, este dormido o despierto. Contigo compruebo que el amor se renta y se paga con millones de besos ¡GRACIAS POR ESTAR JUNTO A MÍ!

A los cuates del Instituto de Ingeniería: Santiago, Patricia, Paola, Eric, Gabriela, Lucy, Maggy, Uriel, Alejandro, Gabriel, Saulo, Braulio, Almita, Lety, Norma, Ara, Luis, Mónica, Norma, Diana, Adriana, Hector, Martha, Normiux, Anabel, Rene, Gabriel, Rogelio, Claudia y Germán y otros muchos más. ¡GRACIAS POR ACOMPAÑARME Y HACERME DIVERTIDA LA ESTANCIA EN EL LABORATORIO Y EN EL INSTITUTO!

Al M en C Luis Santiago Ortega Charleston: Mil gracias por todo el tiempo que dedicaste a la realización y revisión de este trabajo, a la paciencia, al apoyo, a las recomendaciones y a los regaños. Sin ti sé que no hubiera terminado esta tesis. ¡GRACIAS MAESTRO!

A LA FACULTAD DE QUIMICA. ¡¡¡Mil gracias y un enorme GOYA!!!

A la generación 94, personas con las que compartí varios de los más bellos y formativos años de mi vida.

A los compañeros de otros semestres, a los que fueron los conejillos de indias que tomaron las primeras clases que impartí, a aquellos que conozco y a los que estoy conociendo: Pablo, Mauricio, Jonathan, Su, Wallas, Juan, Gabriel, Itzel, Verónica, Miguel, Marco, Juan, Alejandro ...

A los profesores que han participado en mi formación en todos los niveles de mi vida. En especial a: Lic. Adriana Tena, Lic. Irma Orozco, Lic. Socorro Patraca, IQI. Lourdes Reyes, M. C. Miguel Angel Rivas, M. en C. Gerardo Ferrer Sueta, Dra. Silvia Pérez Casas, Dr. Enrique Bazúa Rueda, Q. Irma Cruz Gavilán, M. en C. Simón Hernández Ortega, Dr. Alain Quere Thoren, Dr. Raymundo Cruz Almanza, Ing. Villela, Dr. Francisco Javier Garfias Ayala, M. en A. Luis Gallo, Lic. Eric O'Connell, Nicole Trocherie y Lic. Danielle Martineau. Grandes profesores y ejemplos, ustedes no solo me han dado enseñanzas de cada una de sus materias, sino que también me han mostrado la dura vida que llevan, pero tan llena de satisfacciones. ¡GRACIAS! ¡Sé que llegaré a ser como ustedes!

Al Instituto de Ingeniería por la infraestructura necesaria para la realización de este trabajo.

Al apoyo económico que se me proporciono, un especial agradecimiento a la Dirección General de Obras y Servicios Generales de la UNAM por el patrocinio al proyecto y especialmente al Arq. Jorge T. Galicia Hernández, al Ing. Fernando Mercado Paz y al Ing. Isidro Chávez.

Al Dr. Adalberto Noyola Robles, al IQ Rodolfo Torres Barrera y al M. en I José Luis López Martínez, por la revisión de este trabajo de tesis y por lo que aprendí de ustedes.

¡EL DÍA ES HOY!

El corazón puede congelarse
o bien puede arder
El miedo disminuirá
Si puedo aprender
No hay futuro, no hay pasado
Vive este momento como el final
Sólo estamos nosotros
Sólo tenemos ésto
Deja de arrepentirte o la vida es tuya para errar
No hay otro camino
No hay otro destino
¡EL DÍA ES HOY!

Aquí está sólo el sí, sólo esta noche
Debemos de arriesgar para saber que está bien
No hay otro curso
No hay otro destino
¡EL DÍA ES HOY!

Sólo confío en mi alma
Mi única meta es SER
Sólo está el ahora
Sólo está este lugar
Ama o vive con miedo
No hay otro sendero
No hay otro camino
¡NO HAY OTRO DÍA MAS QUE HOY!

-RENT-

Resumen

En el presente trabajo de tesis se evaluó el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales construida en el área de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM. La planta de tratamiento en cuestión emplea un proceso de tratamiento aerobio de biomasa fija sumergida denominada Bio-Torres empacadas. La planta de tratamiento se diseñó para tratar un influente con un flujo de 7.5 lps y está construida en un área de 300 m². El agua obtenida de esta planta será empleada para riego de áreas verdes en la zona de influencia (Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Tienda UNAM, TvUNAM, Filmoteca e Instituto de Investigaciones Antropológicas), contemplando que el exceso pueda ser empleado para regar otras zonas o ser infiltrado a través de una grieta con el objeto de recargar el acuífero de la Zona Metropolitana del Valle de México. Se realizaron pruebas de arranque de la planta con el objeto de conocer el estado del equipo con el que estará operando. Las pruebas de arranque fueron las siguientes: Pruebas de equipos electromecánicos en vacío, pruebas hidráulicas y pruebas a equipos electromecánicos con carga. Se realizaron pruebas de funcionamiento del proceso con base en los parámetros de operación para sistemas aerobios de este tipo. También se efectuaron pruebas de calidad del agua con el objeto de verificar el cumplimiento de los requerimientos especificados en la Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-001-1996, para el uso del agua de acuerdo con los límites máximos permisibles para Embalses Naturales y Artificiales (uso público urbano). Los resultados mostraron que durante el periodo evaluado esta planta de tratamiento no produjo agua residual tratada con la calidad requerida, debido a que no estaba siendo operada de forma adecuada.

Indice

| | |
|--|----|
| Lista de Figuras | I |
| Lista de Tablas | II |
| 1 Introducción | 1 |
| 2 Generalidades | 2 |
| 2.1 Problemática del Manejo del Agua en la Zona Metropolitana del Valle de México | 2 |
| 2.2 Problemática del Manejo del Agua Dentro de Ciudad Universitaria | 5 |
| 2.2.1 Recarga de los mantos acuíferos | 5 |
| 2.2.2 Ahorro de Agua Potable | 6 |
| 2.2.3 Sustitución de agua potable y reducción de la contaminación | 7 |
| 2.3 Proyecto de Infraestructura de Tratamiento de Aguas Residuales en el Campus Universitario. | 8 |
| 3 Tratamiento de Aguas Residuales | 11 |
| 3.1 Procesos de Tratamiento | 11 |
| 3.1.1 Tratamiento Físico | 11 |
| 3.1.2 Tratamiento Químico | 12 |
| 3.1.3 Tratamiento Biológico | 13 |
| 3.1.3.1 Anaerobio | 14 |
| 3.1.3.2 Aerobio | 15 |
| 3.1.3.3 Anóxico | 16 |

| | |
|---|----|
| 4 Selección Tecnológica para el Proyecto FCPyS | 17 |
| 4.1 Descripción de los Procesos de Tratamiento Aerobios de Biomasa Fija Sumergida | 19 |
| 4.1.1 Discos Biológicos Rotatorios | 20 |
| 4.1.1.1 Elementos de una Unidad de RBC | 20 |
| 4.1.1.2 Factores para el Diseño del Proceso | 21 |
| 4.1.1.3 Problemas de Operación | 22 |
| 4.1.1.4 Factores para Analizar el Proceso de RBC | 23 |
| 4.1.2 Filtros Aerobios Sumergidos | 25 |
| 4.1.2.1 Medios de Soporte de la Biopelícula | 26 |
| 4.1.2.2 Factores para el diseño de Filtros Aerobios Sumergidos | 26 |
| 4.1.2.3 Factores para Analizar el Proceso de Filtros Aerobios Sumergidos | 27 |
| 5 Objetivo | 29 |
| 5.1 Objetivos Específicos | 29 |
| 6 Metodología | 30 |
| 6.1 Características del Sistema | 31 |
| 6.1.1 Descripción del proceso | 33 |
| 6.2 Pruebas de Arranque | 39 |
| 6.3 Parámetros de Control | 39 |
| 6.4 Variables de Respuesta | 40 |
| 6.5 Pruebas Analíticas | 41 |

| | |
|--|----|
| 7 Resultados y Discusión | 44 |
| 7.1 Pruebas de Arranque | 44 |
| 7.2 Parámetros de Control | 44 |
| 7.3 Variables de Respuesta | 49 |
| 7.4 Calidad del Agua | 53 |
| 7.5 Propuesta para la eliminación de nitrógeno | 59 |
| 8 Conclusiones y Recomendaciones | 62 |
| 8.1 Conclusiones | 62 |
| 8.2 Recomendaciones | 62 |
| 9 Bibliografía | 64 |
| Anexos | |
| A. Tablas de Resultados | 66 |
| B. Técnicas Analíticas | 71 |
| C. Pruebas de Rodado | 78 |
| D. Cálculo de Cargas | 79 |
| E. Determinación del Crecimiento de Biomasa | 80 |
| F. Descripción de Selladores | 81 |
| G. Balance de Nitrógeno | 83 |
| H. Comentario a la estimación de caudales | 88 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|--|----|
| 6.1 | Empaque biocascada | 30 |
| 6.2 | Diagrama de la PTAR | 35 |
| 6.3 | Plano isométrico | 36 |
| 6.4 | Diagrama de Flujo de Proceso | 37 |
| 6.5 | Diagrama de Tuberías e Instrumentación | 38 |
| 6.6 | Diagrama de Análisis de Muestras | 42 |
| 7.1 | Hidrograma de la PTAR | 45 |
| 7.2 | Flujo (medición puntual) | 46 |
| 7.3 | Sistema de Válvulas (En operación y propuesto) | 47 |
| 7.4 | Carga Hidráulica | 48 |
| 7.5 | Carga Orgánica | 49 |
| 7.6 | Biomasa Total | 50 |
| 7.7 | Producción específica de biomasa | 50 |
| 7.8 | DQO Total | 51 |
| 7.9 | Sólidos Suspendidos Totales | 52 |
| 7.10 | Sistemas para la oxidación del carbono, nitrificación y desnitrificación de aguas residuales | 59 |
| 7.11 | Diagrama de flujo de proceso propuesto y Balance de materia | 60 |
| G.1. | Diagrama de flujo y balance de materia del proceso recomendado para la remoción de nitrógeno. | 83 |

Lista de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1 Origen y cantidad del agua en bloque proporcionada a las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México. | 3 |
| Tabla 4.1 Desventajas relacionadas con el proceso de lodos activados | 19 |
| Tabla 4.2 Elementos de una unidad de biodiscos | 20 |
| Tabla 4.3 Factores de diseño para el sistema RBC | 21 |
| Tabla 4.4 Principales problemas de operación del sistema RBC | 22 |
| Tabla 4.5 Factores para analizar el proceso RBC | 23 |
| Tabla 4.6 Ventajas de aplicación de filtros sumergidos | 26 |
| Tabla 4.7 Factores de diseño para filtros sumergidos | 26 |
| Tabla 4.8 Factores para analizar el proceso de filtros sumergidos | 27 |
| Tabla 6.1. Calidad de agua residual a tratar | 31 |
| Tabla 6.2 Requerimientos de calidad del agua tratada | 32 |
| Tabla 7.1. Resultados: pH, Temperatura, Sólidos Sedimentables y Materia Flotante | 54 |
| Tabla 7.2. Resultados: Coliformes fecales | 55 |
| Tabla 7.3. Resultados: Huevos de helminto | 56 |
| Tabla 7.4: Resultados: Metales pesados | 56 |
| Tabla 7.5 Resultados: Grasas y Aceites | 57 |
| Tabla 7.6 Resultados: Nitrógeno total Kjeldahl | 58 |
| Tabla A.1 Flujo | 66 |
| Tabla A.2 Carga hidráulica | 67 |
| Tabla A.3. Carga Orgánica | 68 |
| Tabla A.4 Biomasa | 68 |
| Tabla A.5. DQO Total | 69 |
| Tabla A.6. SST | 70 |
| Tabla G.1. Concentración media de las clases de nitrógeno en un agua residual típica sin tratamiento | 84 |
| Tabla H.1 Comparación de aportaciones reportadas en Licitación y calculadas | 88 |
| Tabla H.2 Aportaciones calculadas de acuerdo con el Nuevo Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. | 89 |

1 Introducción

La contaminación de las aguas es cada vez mayor y por ende pone en riesgo el recurso y la salud de la población de diversos países. Aunado a la contaminación de las aguas se encuentran los problemas a los que se enfrentan los gobiernos al buscar nuevas fuentes y llevar el agua potable a los asentamientos urbanos, como es el caso en varias ciudades de México.

En nuestro país se han hecho necesarias grandes obras de ingeniería para dotar de agua potable a la Zona Metropolitana del Valle de México ya sea trayendo agua de diversos lugares o bien extrayéndola del subsuelo. Sin embargo el traer agua de otras zonas no es una solución que pueda mantenerse en el largo plazo y el extraerla del subsuelo produce daños en la infraestructura de la ciudad al generar hundimientos del terreno, además de agotar el recurso. Por este motivo, se han comenzado acciones para solucionar este grave problema; entre estas acciones se encuentra una nueva política del uso del agua, que favorece el tratamiento y el reuso de la misma, incluida la infiltración de agua para limitar la sobreexplotación del manto acuífero.

Estos nuevos criterios para la utilización del agua, no han quedado fuera de las miras de las autoridades de la UNAM, las cuales a través del Proyecto de Infraestructura de Tratamiento de Aguas Residuales; Programa UNAM-BID, plantean el tratamiento de todas las descargas de las aguas residuales generadas en el Campus Universitario, con el fin de ahorrar este recurso, mediante la substitución de agua potable por agua residual tratada en el riego de áreas verdes.

Dentro del programa antes citado se encuentra la construcción y puesta en operación de una planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el área de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, la cual deberá cumplir con los requerimientos de calidad de agua especificados en la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996), en el rubro de agua residual tratada para descargas en embalses con uso público urbano.

2. Generalidades.

El agua es uno de los recursos naturales que el hombre utiliza en mayor medida. Actualmente, la disponibilidad de este recurso se está viendo amenazada, por lo que es necesario el tomar medidas para revertir esta tendencia. Dados los problemas de abasto y de contaminación es indispensable iniciar acciones tendientes a obtener el mayor beneficio posible del agua residual generada, mediante la aplicación de procesos de tratamiento con el fin de reutilizarla y/o reintegrarla al ambiente libre de contaminantes.

El fin que se persigue al reutilizar el agua tratada es el de eliminar el empleo de agua potable en las operaciones donde no es estrictamente necesaria. Por otro lado, reintegrarla al ambiente busca evitar un impacto en el equilibrio presente en la naturaleza.

2.1 Problemática del Manejo del Agua en la Zona Metropolitana del Valle de México.

El Distrito Federal es considerado parte de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). El DF tiene una extensión cercana a lo 1,547 Km² y una población de nueve millones de habitantes. De ésta un 97.88 por ciento (Plan Maestro de Agua potable del DF 1997-2010, 1997) cuenta con servicio de distribución de agua y un 91.30 por ciento (Plan Maestro de Agua potable del DF 1997-2010, 1997) con recolección de aguas residuales. El Gobierno del Distrito Federal (GDF) es responsable de abastecer de agua potable, recolectar las aguas residuales y disponer de ellas en toda su jurisdicción. Algunas zonas de la parte sur del DF están pobladas de forma dispersa y el abastecimiento de agua para esta área no está integrado al sistema de distribución. Muchos de los habitantes de esta porción del DF dependen de camiones tanque (pipas de agua) que transportan el agua para luego repartirla. De igual manera, la mayor parte de la zona sureste del DF (Ajusco, Dinamos, CU) no cuenta con sistema de drenaje.

Las autoridades han tratado de restringir la urbanización debido a las dificultades que existen para llevar los servicios básicos, pero también porque se trata de una zona natural de recarga del agua subterránea.

Aproximadamente 43 m³/s, casi el 72 por ciento del agua utilizada en la ZMVM, se obtiene de distintas baterías de pozos que se encuentran explotando el acuífero de la Cuenca de México. En conjunto, el Distrito Federal y la zona conurbada perteneciente al Estado de México tienen 1,089 pozos registrados, a profundidades que van de 70 a 200 metros.

El agua traída de las cuencas del Cutzamala y el Lerma contribuye con alrededor de un 26 por ciento del abastecimiento total, mientras que el agua superficial de la Cuenca del Valle de México contribuye sólo con alrededor del 2 por ciento (1.4 m³/s). Más detalles sobre el tema se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Origen y cantidad del agua en bloque proporcionada a las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México.

| Fuentes de agua en bloque | Distrito Federal (m ³ /s) | Estado de México (m ³ /s) | Total (m ³ /s) |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| Cuenca del valle de México | 22.7 | 20.3 | 43.0 |
| Campos de pozos | 0.2 | --- | 0.2 |
| Río Magdalena | --- | 0.5 | 0.5 |
| Presa Mandín | 0.5 | 0.2 | 0.7 |
| Río Cutzamala | 7.6 | 3.0 | 10.6 |
| Campos y pozos del Lerma | 4.3 | 1.0 | 5.3 |
| Abastecimiento total. | 35.3 | 25.0 | 60.3 |

Fuente: National Research Council *et al*, 1995.

El área de servicio del Distrito Federal abarca casi 11,000 kilómetros de líneas de distribución y 243 tanques de almacenamiento, con una capacidad total de 1.5 millones de metros cúbicos. En la actualidad el Distrito Federal construye una línea de transmisión de agua (el Acueducto Periférico), destinada a transportar agua desde el sistema Cutzamala, que entra al sistema de distribución por el oeste a las porciones sur y este del DF (National Research Council *et al*, 1995).

El sistema de distribución de agua potable es vulnerable a la contaminación debido a que es muy viejo y tiene fugas, en parte debidas a los efectos del hundimiento del suelo. Las fugas, combinadas con las interrupciones del sistema y los periodos de variaciones en la presión, hacen que el sistema sea susceptible a la infiltración de contaminantes desde el subsuelo, que a su vez está contaminado por los drenajes con filtraciones, descargas de las fosas sépticas y el desbordamiento de las líneas de drenaje.

Para la recolección de aguas residuales, existe un sistema integrado para el DF y el Estado de México en la ZMVM. Cada área de servicio tiene su propia red de drenaje; sin embargo, todos los drenajes descargan eventualmente en los interceptores generales del sistema de drenaje, el cual conduce las aguas residuales por cuatro salidas artificiales localizadas en el extremo norte de la cuenca. Estas cuatro salidas son el Tajo de Nochistongo, en el cual desemboca el Emisor Poniente, los túneles primero y segundo de Tequixquiac y el Emisor Central o drenaje profundo. Este último desemboca en el río El Salto, posteriormente el agua es conducida a la presa Requena, donde sigue su trayecto hasta el río Tula y a la presa Endó.

El 90 por ciento de las aguas residuales municipales de la ZMVM permanece sin tratamiento y se desvía al exterior de la Cuenca de México a través de sistema general de drenaje. Las aguas residuales sin tratar se utilizan para irrigar sembradíos en el Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, hacia el norte. La corriente resultante de la irrigación se drena hacia tributarios del río Pánuco, el cual desemboca en el Golfo de México.

El 10 por ciento restante es tratado. Para ello las plantas de tratamiento de aguas residuales están ubicadas para suministrar el servicio a determinadas zonas donde existen acciones de reuso. Dichas plantas de tratamiento emplean, como tratamiento secundario, el proceso de lodos activados. En algunas de ellas se emplean como tratamientos terciarios métodos de coagulación/floculación, sedimentación, filtración de arena y desinfección. Las aguas residuales tratadas en la ZMVM se reutilizan a nivel local en distintos proyectos tales como la recarga al acuífero y en menor medida la irrigación de áreas verdes urbanas en la ciudad (National Research Council *et al*, 1995)

2.2 Problemática del Manejo del Agua Dentro de Ciudad Universitaria

La Ciudad Universitaria se encuentra localizada dentro de la zona de recarga más importante de los acuíferos de la Ciudad de México. Esta zona comprende al Pedregal y a la Serranía de Ajusco y Magdalena Contreras. La Ciudad Universitaria ocupa un área aproximada de 700 hectáreas.

Dada la importancia que tiene actualmente el máximo aprovechamiento de los recursos hídricos del Valle de México, la UNAM ha implementado medidas para mejorar la utilización del agua que se emplea dentro del Campus Universitario. Dichas medidas son parte del Programa de Manejo del Agua Dentro de Ciudad Universitaria (Coordinación de la investigación científica, 1994), el cual consta de tres puntos básicos:

- ✓ Recarga de los mantos acuíferos
- ✓ Ahorro de agua potable
- ✓ Substitución de agua potable utilizada en riego de áreas verdes y reducción de la contaminación

2.2.1 Recarga de los mantos acuíferos.

Hace algunos años la mayor parte del agua de lluvia que se colectaba en calles, azoteas y estacionamientos fluía al drenaje de Ciudad Universitaria, y de ahí hasta el sistema de drenaje de la Ciudad de México.

De este modo, se estaban desperdiciando grandes volúmenes de agua relativamente limpia la cual ya no se infiltraba en el suelo para contribuir a la recarga de los mantos acuíferos. Desde julio de 1993, la Dirección General de Obras y Servicios Generales de la UNAM (DGO y SG), ha realizado desviaciones del agua de lluvia que corre por las calles y avenidas hacia los camellones y otras áreas con el fin de permitir su infiltración en el terreno, lo cual, además, ayuda a descargar los sistemas de drenaje de Ciudad Universitaria.

Una obra importante dentro de este programa es la desviación del agua pluvial de la zona del Estadio Olímpico hacia pozos de absorción, después de una evaluación y un análisis del sistema de colección de aguas pluviales realizados por el Instituto de Ingeniería y la DGO y SG. Adicionalmente, se construyeron pozos de absorción en la cercanía del estadio para enviar el agua a infiltración y evitar así su ingreso al sistema de drenaje.

Desde octubre de 1993 se realiza un inventario de las áreas de colección de agua de lluvia en azoteas y estacionamientos en la Zona Piloto, para proponer la forma más adecuada de enviarla hacia infiltración en jardines y pozos de absorción. La Zona Piloto comprende once facultades, dos institutos de investigación, Centro Médico Universitario, Alberca Olímpica, Pozo de Química, Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras, Biblioteca Central, Talleres de Conservación, Estadio Olímpico, Centro de Enseñanza Para Extranjeros, Dirección General de Obras y Servicios Generales, Torre de Rectoría, Dirección General de Proveduría, Zona Comercial de Rectoría, Tienda No. 1, Dirección General de Relaciones Laborales, Dirección General de Orientación Vocacional, Escuela Nacional de Trabajo Social y la División de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Los proyectos se encuentran en diversos grados de avance, pues se van realizando conforme se dispone de medios para su realización.

2.2.2 Ahorro de Agua Potable.

El agua potable que se consume dentro de Ciudad Universitaria proviene de tres pozos y se distribuye por medio de una red que permite su uso en edificios y para riego de áreas verdes. Con el objetivo de cuantificar los volúmenes que se consumen en edificios y dependencias, la DGO y SG realizó durante 1993, la instalación de medidores de agua en los edificios de la Zona Piloto.

A través del programa de dignificación de servicios sanitarios se ha podido reducir el consumo de agua potable gracias a la instalación de sistemas ahorradores de agua (Coordinación de la investigación científica, 1994).

2.2.3 Sustitución de agua potable y reducción de la contaminación.

Un estudio exhaustivo realizado por el Instituto de Ingeniería indica que hay algunas zonas dentro de Ciudad Universitaria que carecen de un sistema de drenaje: se vierten aproximadamente 3900 metros cúbicos diarios de aguas residuales en las grietas de la capa de roca, siendo ésta una fuente de contaminación del agua subterránea. Para reducir el impacto se propone y especifica la construcción de sistemas de drenaje en lugares estratégicos que deberán terminar en plantas para tratamiento de aguas residuales (Noyola y Sámano, 1995).

El Instituto de Ingeniería y la DGO y SG elaboraron planos, diagramas, cuantificación de materiales y se propusieron localizaciones y tipos de sistemas para tratar el agua residual. El trabajo se basó en caracterizaciones de las aguas residuales y propuso sistemas específicos para el tratamiento (Noyola y Sámano, 1995).

El estudio concluye que se requieren 6620 metros de líneas nuevas de drenajes y 2000 metros de líneas provenientes de 14 estaciones de colección y bombeo de aguas residuales.

Un punto muy importante por considerar es que las aguas residuales tratadas serán utilizadas en el riego de áreas verdes para sustituir el riego con agua potable.

En este sentido, desde 1982, Ciudad Universitaria cuenta con una planta para tratamiento de aguas residuales que produce 3600 metros cúbicos por día (43 litros por segundo). Fue construida con el fin de contar con una fuente de agua para riego de áreas verdes. Actualmente la planta permite la sustitución de aproximadamente 3600 m³/d de agua potable con agua tratada.

Un punto importante dentro de la conceptualización de este programa es que el agua tratada, de forma similar al agua de lluvia, deberá enviarse a infiltración para contribuir con el proceso de recarga de los mantos acuíferos.

2.3 Proyecto de Infraestructura de Tratamiento de Aguas Residuales en el Campus Universitario.

La UNAM, consciente de todos los problemas ocasionados por el agua desechada sin tratamiento, a través de la Dirección General de Obras y Servicios Generales de la UNAM y del Instituto de Ingeniería y con fondos proporcionados por el Banco Interamericano de Desarrollo y fondos del Quinto Centenario del Gobierno Español, diseñó el Proyecto de Infraestructura de Tratamiento de Aguas Residuales; Programa UNAM-BID (Noyola y Sámano, 1995).

En este proyecto se contempla el tratamiento de todas las descargas de aguas residuales generadas en el Campus Universitario, con el fin de ahorrar el recurso mediante la sustitución de agua potable por agua residual tratada para el riego de áreas verdes, la protección del ambiente y la salud pública, así como para efectuar la recarga del manto acuífero por la infiltración de agua residual tratada.

El Plan Básico de Saneamiento del Campus se dividió en paquetes de licitación de acuerdo a la asignación de recursos y a la prioridad en la construcción de cada una de las plantas.

El primer proyecto licitado y realizado fue el de "Construcción y/o Adecuación de 26 Fosas Sépticas con Postratamiento para Aguas Residuales en el Campus Universitario; Programa UNAM-BID". Este proyecto tiene una capacidad global de tratamiento de 2 L/s para producir agua residual tratada para infiltración al suelo. En la licitación de este proyecto se buscó la selección de sistemas de tratamiento *in situ* para las instalaciones con particular problemática en cuanto a pequeño tamaño, ubicación dispersa y falta de conexión con redes de alcantarillado (Mancebo del Castillo, 1998).

Posteriormente, se emitió la segunda convocatoria pública mediante la cual se licitó la construcción y puesta en operación de la planta de tratamiento de aguas residuales en el área de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales; Programa UNAM-BID.

Mediante esta planta se tratarán las descargas de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, de la Tienda UNAM (metro Universidad), TV UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas y Filmoteca. El tratamiento debería de ser realizado por medio de un proceso biológico aerobio de biomasa fija sumergida bajo la modalidad de "llave en mano". El caudal promedio por tratar es de 7.5 litros por segundo.

Las características mínimas incluidas en la configuración de la planta fueron:

- a) Pretratamiento integrado por rejillas gruesas y finas, desarenador, medidor de flujo y tanque de homogeneización
- b) Reactor biológico de biomasa sumergida
- c) Sedimentador secundario de lodos
- d) Sistema de filtración rápida a presión
- e) Sistemas de desinfección
- f) Estabilización y deshidratación por filtro prensa de los lodos generados
- g) Cisterna de agua tratada de 100 m³ de capacidad

Diecisiete empresas respondieron la licitación, de las cuales solo cuatro acudieron a la presentación de la propuesta técnica, de estas últimas empresas una fue descalificada por no presentar la documentación requerida en las Bases de Licitación. De las tres empresas restantes se realizó la revisión de sus propuestas económicas a precio alzado.

De la selección realizada entre ellas resultó seleccionada la empresa que emplea el proceso de biorreactores aerobias, ya que no solo cumplía con los requerimientos requeridos por la licitación y la Ley, sino que también fue la opción más baja económicamente.

La siguiente etapa del proyecto (Paquete No. 3) contempla la construcción de dos plantas de tratamiento para la Zona de los "Geos", ubicada en la megamanzana comprendida entre los Circuitos de la Investigación Científica y Exterior. Se estima un flujo de agua residual de 10 lps.

La licitación del paquete No. 4 corresponderá a las plantas de tratamiento de las Zona Cultural y Zona Administrativa Exterior. A la fecha, la Dirección de Conservación del DGO y SG actualiza el presupuesto para licitar las líneas de alcantarillado. Las fechas de licitación se fijarán conforme a la liberación de recursos asignados para su ejecución. Estas pequeñas plantas de tratamiento (8 en total), liberarían agua tratada para el riego de áreas verdes.

Finalmente se integrará el quinto paquete de licitación que incluye 10 plantas pequeñas de tratamiento ubicadas en diversas zonas del Campus. Las fechas de licitación se fijarán conforme al presupuesto asignado para su ejecución.

3.Tratamiento de Aguas Residuales.

El tratamiento de aguas residuales ha obtenido en esta época una gran importancia dada la creciente escasez de este vital líquido. Ante el problema que se está padeciendo a nivel mundial se han tomado diversos caminos para solucionar dicho problema, uno de los cuales es la creación de tecnologías limpias que minimicen los desperdicios y se ahorren insumos, entre ellos el agua.

3.1 Procesos de Tratamiento

El propósito del tratamiento del agua residual es producir un efluente que pueda ser descargado sin causar daños al ambiente y ser eventualmente reutilizado según las necesidades del sitio. Los contaminantes presentes en el agua residual pueden ser eliminados mediante procesos de tratamiento físicos, químicos y biológicos.

3.1.1 Tratamiento Físico

Son aquellos en los cuales los cambios son generados mediante la aplicación de fuerzas físicas.

Las operaciones unitarias típicas son (Metcalf y Eddy, 1996):

- ✓ Cribado: Este proceso consiste en hacer pasar el agua a través de una serie de rejillas con una separación determinada entre ellas con el objeto de eliminar los sólidos gruesos y finos que pueden causar daño mecánico a los equipos de la planta en el tratamiento posterior .

- ✓ Mezclado: En este punto, lo que se persigue es homogeneizar la concentración de los contaminantes dentro del agua y frecuentemente también evitar su sedimentación.

- ✓ **Transferencia de gas:** Se desea eliminar los gases presentes dentro del agua ya que éstos pueden ser tóxicos o darles características desagradables al agua.
- ✓ **Sedimentación:** en este proceso lo que se busca es el eliminar aquellos sólidos suspendidos que han quedado después del cribado y que pudieran afectar al proceso de tratamiento (arenas, arcillas y otro tipo de sólidos de naturaleza orgánica).
- ✓ **Filtración:** en este caso se busca eliminar los sólidos en suspensión más finos que contenga el agua.

3.1.2 Tratamiento Químico.

En estos procesos, la eliminación o tratamiento de los contaminantes se realiza mediante la adición de reactivos que llevan a cabo diferentes reacciones químicas. Los principales ejemplos de estos procesos son (Metcalf y Eddy, 1996):

- ✓ **Neutralización:** Este proceso consiste en normalizar el pH del agua, es decir, obtener un pH de 7 o muy cercano. Esto se logra a través de la adición de un ácido o de una base a la corriente de agua según sea necesario.
- ✓ **Precipitación:** En este proceso se elimina una parte de los sólidos solubles a través de la adición de un agente que reacciona con los iones problema formando compuestos insolubles bajo las condiciones de operación.
- ✓ **Adsorción:** En este sistema también se eliminan los compuestos solubles (iones o moléculas) que contenga el agua, con la diferencia que se emplea un agente adsorbente sólido. Este agente toma como parte de su composición al soluto que se desee eliminar del agua.

- ✓ **Coagulación-floculación:** En este proceso se realizan dos acciones consecutivas, la primera llamada coagulación tiene por objeto el neutralizar las cargas negativas presentes en los sólidos no sedimentables y coloides presentes en el agua; esto se logra mediante la adición de químicos que cumplan ese propósito, con agitación rápida. Mientras que la floculación tiene por objetivo el crear flóculos grandes que se eliminen con facilidad de la corriente. Esto se logra a través de la adición de sales de hierro o de aluminio con agitación rápida.

- ✓ **Intercambio iónico:** En este proceso se hace pasar la corriente contaminada a través de un intercambiador catiónico (comunmente HCl) y un intercambiador aniónico (comunmente NaOH) en forma sucesiva, reemplazando los cationes y los aniones que se desean retirar de la corriente por iones H^+ y OH^- .

- ✓ **Oxidación:** El objeto que se persigue es el de reducir la materia orgánica contaminante a CO_2 y agua. Así como el convertir compuestos nocivos como cianuros, cromatos, permanganatos, ion ferroso (Fe II), compuestos de azufre y colorantes en sustancias inocuas al ambiente.

- ✓ **Desinfección química:** Consiste en el tratamiento del agua con un agente desinfectante (cloro, luz ultravioleta u ozono) para eliminar a los agentes patógenos (coliformes fecales, *Entamoeba histolítica*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholera*) que contenga el agua.

3.1.3 Tratamiento Biológico.

Son aquellos procesos de tratamiento en los cuales se involucra la actividad de microorganismos para la eliminación y/o transformación de contaminantes. Son utilizados para la eliminación de material biodegradable (soluble y coloidal) del agua residual.

Básicamente, los contaminantes presentes en el agua residual son transformados por los microorganismos en material celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Los microorganismos responsables de la eliminación de la materia contaminante están contenidos en un recipiente (reactor) de forma suspendida, adheridos a un soporte inerte o de forma combinada.

Los procesos biológicos de tratamiento se dividen en dos grandes grupos:

- ✓ procesos anaerobios y
- ✓ procesos aerobios (con oxigenación directa y anóxicos).

3.1.3.1 Anaerobio.

Tradicionalmente, los procesos anaerobios están relacionados con el tratamiento y estabilización de los lodos de desecho de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, recientemente se han desarrollado sistemas que permiten su aplicación al tratamiento de aguas residuales de tipo industrial, ya que su capacidad de retención de biomasa (en forma suspendida y/o adherida a un soporte) permite tratar aguas con altas concentraciones de material orgánico.

En la transformación de la materia orgánica por vía de la digestión anaerobia, los microorganismos desarrollan sus funciones metabólicas en ausencia de oxígeno. Bajo estas condiciones, el 90 % de la energía contenida en el material orgánico del agua residual es transformada en metano, haciendo factible la reutilización de éste como fuente energética. Por otro lado, el 10 % de la energía contenida restante en el agua residual es utilizado en el crecimiento de microorganismos.

La tecnología anaerobia está clasificada en cuatro grupos (Droste, 1997 y Metcalf y Eddy, 1996):

✓ Procesos convencionales;

- Fosas sépticas,
- tanques Imhoff,
- lagunas anaerobias y
- digestor anaerobio convencional.

✓ Procesos de contacto;

- Digestor anaerobio de mezcla completa y
- reactor de contacto anaerobio.

✓ Procesos de película fija;

- Filtro anaerobio y
- reactor tubular de película fija.

✓ Procesos de lecho de lodos;

- Reactor anaerobio de flujo ascendente y lecho de lodos (UASB, por sus siglas en ingles).
- reactor de lecho expandido y
- reactor de lecho fluidificado.

3.1.3.2 Aerobio

En los procesos aerobios, la eliminación o transformación de la materia orgánica contaminante se lleva a cabo mediante organismos que crecen en presencia de oxígeno ya sea disuelto o en forma de compuestos químicos oxigenados tales como NO_x (proceso anóxico).

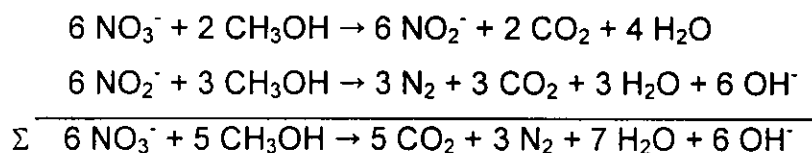
En estos procesos, el 60 % de la energía contenida en la materia orgánica del agua residual es transformada en crecimiento celular, en tanto que el 40 % restante se disipa en forma de calor. Las principales variantes de los procesos aerobios son los siguientes (Metcalf y Eddy, 1996):

- ✓ Lodos activados (biomasa en suspensión),
- ✓ filtros rociadores o percoladores (biomasa fija),
- ✓ discos rotatorios de contacto biológico (biomasa fija y suspendida),
- ✓ filtros sumergidos (biomasa fija y suspendida) y
- ✓ lagunas (proceso facultativo anaerobio-aerobio con biomasa fija y suspendida).

3.1.3.3 Anóxico

Se emplea el término anóxico frente al anaerobio cuando se describe el proceso de desnitrificación, puesto que los principales mecanismos biológicos no son anaerobios, sino que solo son modificaciones de los aerobios. En este tipo de sistemas el aceptor de electrones es el nitrógeno oxidado (NO_3^-) siendo necesaria la presencia de una fuente de carbono orgánico como fuente de energía o donador de electrones. Se han empleado comúnmente dos tipos de fuentes: una fuente interna que proviene de agua residual asimilable por los microorganismos, proveniente del mismo proceso, o bien una fuente externa como metanol, etanol, acetato u otros. La tasa de desnitrificación depende de la calidad y la cantidad de la fuente de carbono orgánico, así como de la recirculación realizada. (Chudoba, P. *et al.*, 1999).

Las reacciones que se realizan en esta etapa se muestran a continuación:



4. Selección Tecnológica para el Proyecto Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

Para el tratamiento de un agua residual de tipo doméstico de composición media, como la generada en la UNAM, son aplicables la gran mayoría de los procesos físicos, químicos y biológicos o combinación de estos. De esta forma, el número de unidades de proceso que pueden combinarse es prácticamente ilimitado. Sin embargo, existen factores técnicos y económicos que condicionan su utilización.

Para describir una combinación particular de operaciones empleadas para alcanzar un objetivo específico de tratamiento se utiliza el término "diagrama de flujo". El diagrama de flujo de un proceso de tratamiento de aguas residuales tiene como finalidad el definir las operaciones unitarias o unidades de proceso y la disposición que guardan entre sí para lograr un objeto específico de tratamiento, de manera que en conjunto, con el menor grado de complejidad, se obtengan las eficiencias de tratamiento requeridas.

De esta forma, el diagrama de flujo para el proceso de tratamiento de aguas residuales propuesto por el Instituto de Ingeniería para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Facultad de Ciencias Políticas y sociales de la UNAM, es el siguiente:

A. Línea de agua

- ✓ Pretratamiento integrado por rejillas gruesas y finas, desarenador, medidor de flujo y tanque de homogeneización
- ✓ Reactor biológico aerobio de biomasa fija sumergida
- ✓ Sedimentador secundario de lodos
- ✓ Sistema de filtración rápida a presión
- ✓ Sistema de desinfección

B. Línea de tratamiento de lodos

- ✓ Espesamiento,
- ✓ Estabilización
- ✓ Acondicionamiento
- ✓ Deshidratación de los biosólidos

Como anteriormente se ha señalado, existen suficientes alternativas técnicas para el tratamiento de las aguas residuales que tienen la posibilidad de cumplir con el objetivo de tratamiento fijado; sin embargo, para definir un proceso de este tipo es necesario considerar elementos de decisión tales como la utilización específica de cada sistema de tratamiento, así como sus ventajas y desventajas para una aplicación dada.

Paralelamente al análisis de una solución técnica, se debe evaluar el factor económico, debido a que los costos de inversión, operación y mantenimiento están ligados al grado de tratamiento requerido y a la alternativa técnica estudiada.

De esta forma, los procesos anaerobios son descartados, ya que sus bases de funcionamiento los hace ideales para efluentes de tipo industrial, aunque actualmente se han ya instalado plantas para efluentes menos concentrados (domésticos). Sin embargo, la calidad del agua obtenida es inferior a la de los procesos aerobios.

Dentro de los procesos aerobios, se descartó el proceso de lagunas, ya que se trata de un tratamiento extensivo en donde se requiere de la disponibilidad de grandes extensiones de terreno.

Respecto a la tecnología de lodos activados, a pesar de la gran versatilidad de los procesos basados en esta tecnología, de la amplia experiencia en el funcionamiento, de la flexibilidad de tratamiento que ofrece el proceso y de la suficiente disponibilidad de equipo en el mercado, estos sistemas fueron descartados debido al alto consumo energético y por presentar desventajas y problemas relacionados con su operación, principalmente con la sedimentabilidad del lodo.

En la Tabla 4.1 se presentan las desventajas técnicas relacionadas con el proceso de lodos activados.

Tabla. 4.1. Desventajas relacionadas con el proceso de lodos activados.

| DESVENTAJAS |
|---|
| ✓ Presentan mayor sensibilidad a variaciones de flujo y concentración de materia orgánica (en comparación con biomasa fija). |
| ✓ Bajo ciertas condiciones, no siempre controlables, se puede presentar el desarrollo de microorganismos filamentosos, con los problemas de sedimentación y de control del tiempo de retención celular del sistema. |
| ✓ En el caso de aireación extendida, se requieren grandes volúmenes de reactor, ya que se deben mantener bajas cargas orgánicas. |
| ✓ Se requiere mayor especialización del personal encargado de operar las instalaciones. |
| ✓ Mayor gasto energético por los requerimientos de aireación y mezclado del tanque aerobio. |

Fuente: Sámano, 1993

Respecto a la tecnología de filtros percoladores, estos son sistemas que consisten en una cama de material inerte sobre el cual gotea y escurre el agua residual por tratar. Lo anterior propicia el crecimiento de una biopelícula de microorganismos, la cual es la encargada de asimilar los contaminantes orgánicos e inorgánicos a través de sus procesos metabólicos. Sin embargo, la aplicación de este tipo de tecnología presenta una gran sensibilidad a cambios climatológicos que condicionan la eficiencia de tratamiento, además de requerir personal con cierta capacidad y experiencia en este tipo de sistemas.

4.1 Descripción de los Procesos de Tratamiento Aerobios de Biomasa Fija Sumergida

Los sistemas de tratamiento que incluyen en su configuración a los reactores aerobios de biomasa fija sumergida comienzan a tener fuerte aceptación en el campo de la ingeniería sanitaria al reconocer las ventajas técnicas y económicas que representa su utilización.

A continuación se presenta una descripción de dos procesos de tratamiento de aguas residuales de biomasa fija sumergida:

4.1.1 Discos Biológicos Rotatorios

Los discos biológicos rotatorios son conocidos como RBC por sus siglas en inglés; Rotational Biological Contactor. Un RBC consiste de una serie de discos circulares de material de poliestireno, polietileno o policloruro de vinilo espaciados cerca uno del otro. Éstos están montados en una flecha de acero y sumergidos en cierto grado en el agua residual. El conjunto debe girar lentamente en el tanque o reactor. En operación, el crecimiento biológico se realiza de manera adherida a la superficie del disco. La rotación del disco pone en contacto alternativamente a los microorganismos con el material orgánico del agua residual y con el aire de la atmósfera para la adsorción del oxígeno necesario; este movimiento mantiene a la biomasa en condiciones aerobias y a su vez, remueve el exceso de biomasa de la biopelícula debido a la fuerza de rozamiento del agua sobre la capa de microorganismos.

De esta manera, los organismos se mantienen de forma suspendida en la fase líquida del reactor y pueden ser posteriormente separados por medio de un sedimentador secundario. Los RBC pueden operar de forma continua con fines de nitrificación o desnitrificación.

4.1.1.1 Elementos de una unidad de RBC.

Los principales elementos que integran un RBC y su importancia se describen en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Elementos de una unidad de biodiscos.

| ELEMENTOS | DESCRIPCIÓN |
|--------------------|--|
| ✓ Flechas de acero | Son utilizadas para soportar y hacer girar el soporte plástico. La longitud máxima es de 8.20 m. La forma y los detalles de diseño varían ampliamente entre cada fabricante. |

Tabla 4.2. Elementos de una unidad de biodiscos. (Continuación)

| ELEMENTOS | DESCRIPCIÓN |
|----------------------------|---|
| ✓ Soporte | El medio de soporte utilizado en el RBC está usualmente fabricado con polietileno de alta densidad y está disponible con varios patrones de configuración y varios tipos de superficies corrugadas. Estas últimas proveen diferentes áreas superficiales y aumentan su estabilidad estructural. |
| ✓ Sistemas de rotación | La mayoría de los RBC son movidos directamente por dispositivos mecánicos ensamblados a la flecha central. Sin embargo, existen algunos mecanismos a base de aire, el cual impulsa las cuencas del material corrugado del disco provocando el movimiento de rotación. |
| ✓ Tanques | Los tanques para los RBC han sido optimizados para 150 m ² /m ³ de soporte. La profundidad típica del tanque es de 1.5 m para proporcionar un 40 % de inmersión del soporte en el agua residual. |
| ✓ Cubiertas | Las unidades RBC deben cubrirse por las siguientes razones: proteger el soporte plástico de la luz ultravioleta, proteger el proceso de bajas temperaturas, proteger el soporte y los equipos de daños externos y para evitar el crecimiento de algas en el medio de soporte y en el tanque. |
| ✓ Tanques de sedimentación | Los tanques de sedimentación son similares a los sedimentadores secundarios de los filtros percoladores, en los cuales debe separarse los lodos producidos. |

Fuente: Sámano, 1993

4.1.1.2 Factores para el Diseño del Proceso.

Con un diseño apropiado, los RBC muestran un funcionamiento eficiente debido a la importante población de microorganismos adheridos al soporte, y a su baja carga orgánica por masa de sólidos biológicos. En la Tabla 4.3 se muestran las consideraciones correspondientes al diseño del proceso.

Tabla 4.3. Factores de diseño para el sistema RBC.

| FACTOR | COMENTARIOS |
|----------------------------|---|
| ✓ Configuración por etapas | Se refiere a la compartimentalización del medio de soporte para configurarlo en etapas independientes. Se logra utilizando mamparas o por medio de tanques separados dispuestos en paralelo y en serie. Promueve la variación de condiciones en donde pueden proliferar diferentes tipos de organismos. El grado de desarrollo microbiano de cada etapa depende principalmente de la concentración de materia orgánica soluble en el líquido de cada una de las etapas. Para plantas pequeñas, la orientación de la flecha de los discos debe ser paralela a la dirección del flujo de agua residual. |

Tabla 4.3. Factores de diseño para el sistema RBC (Continuación)

| FACTOR | COMENTARIOS |
|-------------------------------|---|
| ✓ Criterios de carga orgánica | En la última década, el diseño de RBC se basa en criterios de DBO ₅ total por unidad de área disponible en el medio de soporte (kgDBO ₅ /m ² .d) y más recientemente el diseño se basa en términos de DBO ₅ soluble (kgDBO ₅ /m ² .d) o Kg NH ₃ /m ² .d para casos de nitrificación. |
| ✓ Características de efluente | Los RBC pueden ser diseñados para proveer tratamiento secundario o avanzado. Las características de DBO ₅ del efluente para tratamiento secundario pueden ser comparadas con las características logradas por sistemas de lodos activados. Cuando se requiere, un RBC puede ser utilizado para eliminar tanto DBO ₅ como NH ₄ ⁺ . |

Fuente: Sámano, 1993

4.1.1.3 Problemas de Operación.

Los principales problemas de un RBC están relacionados con las flechas, el medio de soporte utilizado, fallas de orientación de la flecha y posible producción de malos olores (Tabla 4.4).

Tabla 4.4. Principales problemas de operación del sistema RBC.

| PROBLEMA | COMENTARIOS |
|---|--|
| ✓ Rompimiento del medio de Soporte | Por exposición a calor, solventes orgánicos, radiación ultravioleta o diseño inadecuado. |
| ✓ Fallas en la orientación de la flecha | Provocadas por una lubricación deficiente y mala alineación de las chumaceras. |
| ✓ Fallas en las flechas | Son los problemas más serios relacionados al proceso, ya que provocan la interrupción total del proceso. Las causas principales son: inadecuado diseño estructural, fatiga del material de fabricación y una acumulación excesiva de biomasa en el soporte plástico. Adicionalmente, el paro de la rotación por pocas horas puede provocar el secado de la biomasa expuesta al aire y un fuerte desbalance en la carga mecánica al momento de reiniciar la rotación. |
| ✓ Producción de malos olores | Provocados por sobrecargas orgánicas en las etapas iniciales de tratamiento |

Fuente: Sámano, 1993

4.1.1.4 Factores para analizar el proceso de RBC.

Tabla 4.5. Factores para analizar el proceso RBC.

| FACTOR | COMENTARIOS |
|--|--|
| 1. Aplicabilidad de los procesos | Los Discos Biológicos Rotatorios (RBC) son un proceso biológico aerobio de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Se dispone de información proveniente de pruebas piloto, escalamiento y condiciones de operación. En México actualmente se implementa el sistema con cierto éxito. |
| 2. Intervalo aplicable al flujo. | Es capaz de tratar caudales pequeños y medios, aunque se han desarrollado plantas paquete para flujos entre 4 y 50 m ³ /d. |
| 3. Variación aplicable al flujo | Cuando existen cargas orgánicas bajas (7 Kg DQO/d .1000 m ²), se observa una disminución notable en la cantidad de biomasa en la superficie de los discos debido al desprendimiento masivo de la película biológica. Experimentalmente, se ha encontrado que cuando existe una sobrecarga orgánica, el RBC tiene problemas de operación (anaerobiosis). En plantas pequeñas, es preferible tener un tanque de homogeneización. |
| 4. Características del agua residual | Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica de composición media, que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso. |
| 5. Compuestos inhibidores y que afectan al proceso | Es posible esperar que el sistema RBC funcione satisfactoriamente en presencia de ciertas concentraciones de metales pesados, pero será más sensible a las grasas y aceites. |
| 6. Área | Dependerá del caudal de diseño por tratar; sin embargo, el tiempo de retención hidráulica en un RBC es menor a 60 minutos mientras que para un proceso de lodos activados convencional es de 6 horas, por lo que permite el uso de reactores con un menor volumen para tratar un caudal mayor en un tiempo equivalente. |
| 7. Cinética de reacción y selección del reactor | El proceso RBC contempla cinéticas de reacción de primer orden para la remoción de DBO y oxidación del nitrógeno amoniacal; esto significa que a una carga orgánica específica se logrará una eficiencia porcentual de remoción de DBO, independiente de la carga hidráulica. Sin embargo, como el proceso involucra tres fases líquido-sólido-gas, no se ha desarrollado un modelo matemático que lo represente satisfactoriamente; por ello, el diseño se sigue basando en forma importante en la experiencia del ingeniero. |

Tabla 4.5. Factores para analizar el proceso RBC (Continuación)

| FACTOR | COMENTARIOS |
|---|---|
| 7. Cinética de reacción y selección del reactor | El sistema opera con una película biológica adherida; por tanto, es fundamental proveerlo del área necesaria para el crecimiento de los microorganismos responsables del tratamiento. El área superficial representa el "tamaño del reactor" y es el parámetro de diseño que debe ser especificado con menor incertidumbre. La experiencia ha demostrado que el número de etapas depende del tipo de aguas por tratar y de la calidad deseada, y que en general, cuatro etapas son suficientes. |
| 8. Eficiencias de remoción | Eficiencia de tratamiento: superior al 90% en remoción de DBO. |
| 9. Tipo de subproductos | La producción de lodos es de 0.4 a 0.5 Kg lodo/Kg DBO removido |
| 10. Restricciones en el manejo de lodos | El lodo generado no se encuentra completamente digerido por lo que es necesario estabilizar los lodos para ser dispuestos sin riesgo |
| 11. Restricciones ambientales | La existencia de malos olores y molestias por ruido son poco probables en estos sistemas. Cuando el agua residual es tratada entre 12 y 32 °C, la operación se lleva a cabo en forma satisfactoria. |
| 12. Requerimientos químicos | Ninguno |
| 13. Requerimientos energéticos | Una de las principales ventajas del RBC sobre otros tratamientos biológicos aerobios de aguas residuales, es el bajo consumo de energía. Comparado con un proceso de aireación extendida, el RBC requiere el 30% al 50% menos potencia |
| 14. Requerimientos de personal | Debido a la simplicidad en la operación y mantenimiento de este sistema de tratamiento, los requerimientos de personal, grado de calificación y experiencia son limitados. |
| 15. Complejidad de construcción y equipamiento | El diseño mecánico del sistema debe ser riguroso, pues se han registrado casos de rompimiento y desanclaje de la flecha que soporta los discos. Además, para efectuar la instalación generalmente se requieren grúas y personal especializado. En pequeñas instalaciones este equipamiento es suministrado por plantas paquete previamente ensambladas. En instalaciones mayores se prefieren construir tanques de concreto y cubiertas resistentes a la luz ultravioleta. |
| 16. Operación | Una de las principales ventajas del RBC es la simplicidad en la operación y mantenimiento |

Tabla 4.5. Factores para analizar el proceso de RBC. (Continuación)

| FACTOR | COMENTARIOS |
|--|---|
| 17. Solidez en los criterios de diseño | Existen métodos que utilizan información con el sistema RBC y ordena, en forma de correlaciones empíricas, algunas variables de diseño. El procedimiento solo es aplicable a aguas residuales de tipo doméstico de concentración media. |
| 18. Instrumentación y control | El proceso RBC es estable bajo condiciones fluctuantes de carga orgánica e hidráulica, por lo que no se requiere de recirculación de lodo. Esta estabilidad simplifica la operación y elimina la necesidad de control en la operación e instrumentación |

Fuente: Sámano, 1993

4.1.2 Filtros Aerobios Sumergidos.

Los filtros aerobios sumergidos son procesos de tratamiento de aguas residuales de biomasa fija a soportes de piedra, a soportes plásticos corrugados o piezas plásticas sueltas al azar. Dicho soporte se encuentra sumergido en el agua residual y el procesos de aireación se lleva a cabo por la inyección de aire por medio de difusores en la parte inferior del reactor.

El agua residual fluye a través del filtro (el flujo del líquido puede ser ascendente o descendente) poniendo en contacto a la capa de organismos con el material orgánico del agua residual y realizándose así el proceso de conversión de materia orgánica, además en cierto grado la retención física de los sólidos suspendidos del agua residual.

Las principales ventajas de la aplicación de procesos de filtros aerobios sumergidos se describen en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Ventajas de aplicación de filtros sumergidos.

| Ventajas | |
|----------|--|
| ✓ | Su operación no depende del grado de sedimentabilidad del lodo aerobio (biomasa) lo que la simplifica grandemente. |
| ✓ | Presenta eficiencias de tratamiento similares a los de procesos de lodos activados |
| ✓ | Baja sensibilidad a altas variaciones de carga orgánica e hidráulica |
| ✓ | Configuración compacta si se utiliza empaque plástico |
| ✓ | Menor requerimiento energético en comparación con procesos de lodos activados |

Fuente: Sámano, 1993

4.1.2.1 Medios de Soporte de la Biopelícula

El empaque de los filtros sumergidos generalmente consiste de rocas con diámetros que varían entre 25 y 100 mm, arcilla vitrificada, tezontle y empaques plásticos. Estos últimos permiten tener mayor área específica superficial y facilitan el paso del aire a través del empaque y agua residual. Los filtros con empaque de piedra poseen un peso específico que limita su altura debido al empuje ejercido sobre la pared del tanque, sobre el piso del reactor y el material mismo.

4.1.2.2 Factores de Diseño de Filtros Sumergidos.

En la Tabla 4.7, se comentan los principales factores para el diseño de filtros sumergidos:

Tabla 4.7. Factores de diseño para filtros sumergidos.

| FACTOR | COMENTARIOS |
|--------------------|--|
| ✓ Carga orgánica | Las cargas recomendadas para sistemas de filtros aerobios sumergidos varían entre 0.5-9 kgDQO/m ³ .d. |
| ✓ Carga hidráulica | Se han suministrado cargas hidráulicas en un intervalo de 1.1-20 m ³ /m ² .h sin afectar el funcionamiento global del reactor. |
| ✓ Medio filtrante | El medio filtrante ideal es aquel que presente una alta área superficial por unidad de volumen, debe ser de bajo costo, alta durabilidad y no debe taparse fácilmente. |

Fuente: Sámano, 1993

4.1.2.3 Factores para Analizar el Proceso de Filtros Sumergidos

Tabla 4.8. Factores para analizar el proceso de filtros sumergidos.

| FACTOR | COMENTARIOS |
|--|--|
| 1. Aplicabilidad de los procesos | El filtro aerobio sumergido es un proceso de tratamiento de aguas residuales de composición media (domésticas). Proceso de vanguardia tecnológica que gana aceptación en el campo de la ingeniería sanitaria. Se dispone de información proveniente de pruebas piloto, escalamiento y condiciones de operación. En México, se ha iniciado su aceptación. |
| 2. Intervalo aplicable al flujo | Este tipo de proceso se emplea preferentemente para tratar caudales pequeños (plantas tipo paquete para flujos entre 2 y 10 L/s). Aunque se han instalado sistemas modulados para poblaciones de hasta 30,000 habitantes (5,400 m ³ /d). |
| 3. Variación aplicable al flujo | Es capaz de soportar variaciones de flujo de hasta el 150% y son tolerados por el sistema debido a que su funcionamiento no depende del patrón hidráulico. Además se ha observado un buen funcionamiento para concentraciones de entre 60 y 300 mg DBO/L en el influente. |
| 4. Características del agua residual | Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica de composición media, que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso. |
| 5. Compuestos inhibidores y que afectan al proceso | Es posible esperar que el filtro sumergido funcione satisfactoriamente en presencia de ciertas concentraciones de metales pesados, pero será más sensible a las grasas y aceites |
| 6. Area | Depende del caudal de diseño por tratar (aproximadamente 250 m ² para un Q= 8 L/s) sin embargo, la planta de tratamiento con este sistema ocupa muy poco espacio comparado con lagunas de oxidación y con lodos activados. |
| 7. Cinética de reacción y selección del reactor | Se dispone de valores para las ecuaciones cinéticas tomados de la práctica, resultados de plantas piloto y la literatura. Generalmente los reactores son tanques rectangulares (construcción en concreto) o cilíndricos (acero inoxidable al carbón o plásticos reforzados). La altura del reactor está limitada por el tipo y resistencia del empaque (de 3 a 6 m). |
| 8. Eficiencias de remoción | Eficiencia de tratamiento: superior al 85% en remoción de DBO. |
| 9. Tipo de subproductos | La producción de lodos es de 0.2 Kg lodo/Kg DBO removido |

Tabla 4.8. Factores para analizar el proceso de filtros sumergidos. (Continuación)

| FACTOR | COMENTARIOS |
|--|--|
| 10. Restricciones en el manejo de lodos | El lodo generado no se encuentra completamente digerido por lo que es necesario estabilizar los lodos para ser dispuestos sin riesgo en el ambiente. |
| 11. Restricciones ambientales | Los malos olores no se presentan en un reactor operado adecuadamente. Para controlar el ruido provocado por el soplador o compresor se debe un silenciador y alojarlo en una caseta. Cuando el agua residual es tratada entre 12 y 32 °C, la operación se lleva a cabo en forma satisfactoria. |
| 12. Requerimientos químicos | Ninguno |
| 13. Requerimientos energéticos | Una de las principales ventajas del filtro sumergido sobre otros tratamientos biológicos aerobios de aguas residuales, es el bajo consumo energético. Comparado con un proceso de aireación extendida, el filtro sumergido requiere del 30% al 50 % de la potencia de aquel |
| 14. Requerimientos de personal | Debido a la simplicidad en la operación y mantenimiento de este sistema de tratamiento, los requerimientos de personal, grado de calificación y experiencia son limitados. |
| 15. Complejidad de construcción y equipamiento | Su construcción y equipamiento es sencillo. Se debe asegurar un arreglo homogéneo en los difusores. |
| 16. Operación | Una de las principales ventajas de los filtros sumergidos es que la operación y mantenimiento del sistema son muy sencillos. |
| 17. Solidez en los criterios de diseño | Existe suficiente experiencia en los reactores de biomasa fija. Existe uniformidad y consistencia en los valores reportados en la literatura para este tipo de fuentes y capacidades de planta. |
| 18. Instrumentación y control | Es un sistema que no requiere de instrumentación y control avanzado. El control puede ser eventualmente sustituido por la experiencia del operador, después de la etapa de arranque y conocimiento de la planta. |

Fuente: Sámano, 1993

5 Objetivo

Evaluar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales y el cumplimiento con especificaciones de calidad de descarga.

5.1 Objetivos Específicos

- ✓ Supervisar la puesta en operación de las instalaciones y equipos de la planta de tratamiento.

- ✓ Evaluar la forma de operación de las instalaciones, de acuerdo con las especificaciones del Constructor.

- ✓ Verificar la calidad del efluente obtenido de acuerdo con las especificaciones de las Bases Técnicas de Licitación de este proyecto y de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

6 Metodología

La planta de tratamiento emplea una tecnología de biomasa predominantemente fija, aunque también se encuentra biomasa suspendida en el licor mezclado. Los empaques plásticos "biocascada" que fueron seleccionados por el constructor como medio de sustentación para la biomasa fija, se presentan en la Figura 6.1

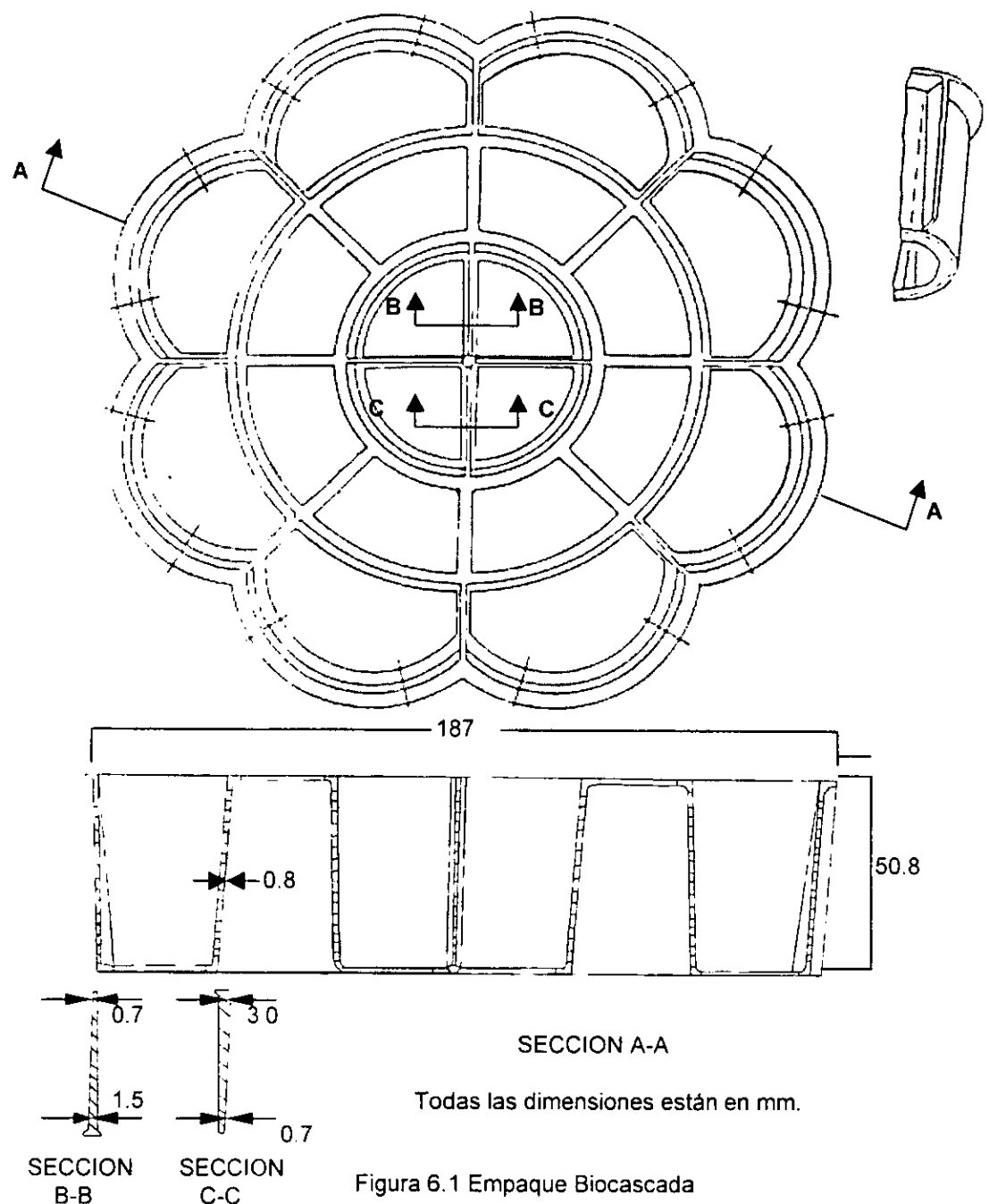


Figura 6.1 Empaque Biocascada

El sistema contiene dos reactores biológicos en serie, los cuales deberán dar el tratamiento adecuado al agua.

6.1 Descripción del Sistema

En las bases de diseño especificadas en las Bases Técnicas de Licitación se solicitó la instalación y equipamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales "tipo paquete" de operación semiautomática y continua, las 8760 horas del año, que cumpla con las condiciones siguientes:

- ✓ Superficie destinada 300 m²
- ✓ Efluente de aguas negras por tratar: $Q_{\text{medio}} = 7.5 \text{ lps}$
- ✓ Agua residual a tratar (Tabla 6.1)

Tabla 6.1 Calidad del agua residual a tratar

| Parámetro | FCPyS | I. Antropológicas | Tienda UNAM | TV UNAM | Filmoteca |
|---|--------|-------------------|-------------|---------|-----------|
| Temperatura (°C) | 18 | 20 | 16 | 17.8 | 18 |
| pH | 6.6 | 7.1 | 6.7 | 6.8 | 7.4 |
| STT (mg/L) | 643 | 396 | 653 | 472 | 453 |
| STV (mg/L) | 303 | 148 | 340 | 228 | 230 |
| STF (mg/L) | 340 | 248 | 313 | 244 | 223 |
| SST (mg/L) | 174 | 95 | 174 | 121 | 141 |
| SSV (mg/L) | 151 | 71 | 148 | 106 | 113 |
| SSF (mg/L) | 23 | 24 | 26 | 15 | 28 |
| Sólidos Sed. (mg/L) | 0.5 | 0 | 1.5 | 0 | 0 |
| Oxígeno disuelto (mg/L) | 3.5 | 3 | 3.4 | 2.5 | 3 |
| DBO (mg/L) | 184 | 105 | 150 | 145 | 81 |
| DQO _T (mg/L) | 553 | 316 | 447 | 435 | 243 |
| DQO _S (mg/L) | 384 | 141 | 261 | 251 | 186 |
| Ortofosfatos (mgP-PO ₃ ⁻⁴ /L) | 5 | 10.5 | 7 | 8 | 9 |
| NTK (mg/L) | 15 | 16 | 28 | 32 | 41 |
| N-NH ₄ (mg/L) | N.D | 7 | 18 | 15 | N.D |
| Grasas y aceites (mg/L) | 11 | N.D | 17 | 13 | 34 |
| Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L) | 168 | 180 | 220 | 210 | 310 |
| Coliformes totales (NMP/100 mL) | 2E + 7 | 2E + 7 | 3E + 7 | 3E + 7 | 2E + 7 |

FCPyS: Facultad de Ciencias Políticas y Sociales

N.D: No detectado

- ✓ Que el sistema incluya en su configuración al menos lo siguiente:
 - a) pretratamiento integrado por rejillas gruesas y finas, desarenador, medidor de flujo y tanque de homogeneización,
 - b) reactor biológico aerobio de biomasa fija sumergida,
 - c) sedimentador secundario de lodos,
 - d) sistema de filtración rápida a presión,
 - e) sistema de desinfección,
 - f) estabilización y deshidratación por filtro prensa de los lodos generados y
 - g) cisterna de agua tratada de 100 m³ de capacidad
- ✓ Que dentro del predio disponible para la planta de tratamiento se construya una caseta dividida en la siguiente forma:
 - a) Sección para análisis rutinarios de laboratorio (incluir una tarja y mesa de laboratorio) y para trabajo de escritorio
 - b) Sección para instalación de un mueble sanitario y un lavabo
- ✓ Cumplir con requerimientos de calidad de agua residual tratada solicitados así como con la NOM-001-ECOL-1996, en los rubros no especificados directamente en la Licitación (Tabla 6.2)

Tabla 6.2. Requerimientos de calidad del agua tratada

| PARÁMETROS | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES | |
|---|-----------------------------|------------------|
| | Promedio diario | Promedio mensual |
| (miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | | |
| Temperatura (°C) | 40 | 40 |
| Grasas y Aceites | 15 | 25 |
| Materia flotante | Ausente | Ausente |
| Sólidos sedimentables (mL/L) | 1 | 2 |
| Sólidos suspendidos totales | 40 | 60 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | 30 | 60 |
| Nitrógeno Total Kjeldahl | 5 | 10 |
| Fósforo total | 5 | 10 |
| Potencial de hidrógeno | Entre 6,5 y 7,5 | |
| Arsénico | 0.1 | 0.2 |
| Cadmio | 0.1 | 0.2 |
| Cianuro | 1.0 | 2.0 |
| Cobre | 4.0 | 6.0 |

Tabla 6.2. Requerimientos de calidad del agua tratada

| PARÁMETROS | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES | |
|--------------------------------|-----------------------------|-------|
| Cromo | 0.5 | 1.0 |
| Mercurio | 0.005 | 0.01 |
| Níquel | 2.0 | 4.0 |
| Plomo | 0.2 | 0.4 |
| Zinc | 10.0 | 20.0 |
| Coliformes fecales (NMP/100mL) | 2,000 | 1,000 |
| Huevos de helminto (HH/L) | 5 HH/L | |

Fuentes: Bases Técnicas de Licitación y NOM- 001-ECOL-1996 (Criterio Uso Público Urbano)

6.1.1. Descripción del proceso.

El agua residual pasa a través de una rejilla de cribado grueso, la cual está colocada en el cárcamo de bombeo de acceso a la planta; de allí es bombeada a una malla estática de acero inoxidable de cribado fino para remover sólidos suspendidos de menor tamaño. Después de esta operación, el agua pasa a través de un medidor de flujo, tipo vertedor rectangular, ubicado en el paso entre las dos Bio-Torres (los reactores biológicos del sistema de tratamiento).

Los sólidos removidos de la malla estática caen por gravedad al tanque de estabilización de lodos y el efluente es conducido a un tanque de igualación con aireación para lograr un mezclado y prevenir condiciones sépticas, así como para lograr una igualación tanto hidráulica como química. De este tanque, el agua residual es bombeada al tratamiento biológico. El sistema de tratamiento propuesto es un proceso biológico que utiliza reactores aerobios con biomasa fija sumergida mediante un proceso denominado Bio-Torres. Los sistemas con Bio-Torres están diseñados para el tratamiento de aguas residuales con materia orgánica disuelta.

Estos sistemas consisten en dos tanques verticales, totalmente inundados, llenos con empaque de propileno (empaque biocascada, Figura 6.1).

Este empaque brinda una alta área superficial comparada con el volumen de la Bio-Torre (95% de espacios vacíos), y provee un medio sobre el cual crecen los microorganismos y con ello son retenidos sin la necesidad rutinaria de reciclar lodos del sedimentador.

El agua acondicionada es dirigida a las Bio-Torres, donde se inyecta aire de forma continua por la parte inferior. En la primera de estas torres se remueve una parte de la carga orgánica del agua residual y en la segunda se elimina la carga restante.

El agua proveniente de las Bio-Torres conteniendo la biomasa desprendida del empaque fluye por gravedad al sedimentador secundario, cuya función es remover los sólidos obtenidos del tratamiento biológico. Este equipo utiliza módulos inclinados de placas corrugadas para una máxima eficiencia. Dentro del separador, los sólidos sedimentables son removidos del flujo y se depositan en el fondo del separador. De allí los sólidos son transferidos por una bomba a la primer Bio-Torre o al tanque de estabilización.

El agua clarificada proveniente del separador de sólidos es conducida a un cárcamo de bombeo, el cual tiene la finalidad de almacenarla y bombearla a un filtro rápido a presión, cuya función es completar la remoción de sólidos incluyendo huevos de helminto.

Después de la filtración a presión, el agua pasa a una cisterna de almacenamiento; con un proceso en línea previo esta cisterna, se añade una solución de hipoclorito de sodio por medio de una bomba dosificadora.

Los lodos provenientes del separador secundario y del retrolavado del filtro de arena son enviados al cárcamo de digestión aerobia en donde son aireados por 7.5 días para lograr su estabilización,

El lodo estabilizado es conducido por arranque manual de una bomba de transferencia a un tanque de acondicionamiento, en donde se agrega cloruro férrico para favorecer la coagulación del lodo. Una vez que el lodo está acondicionado adecuadamente, es bombeado a un filtro prensa para la remoción de agua. La descarga de la torta del filtro prensa se realiza de forma manual al final del ciclo.

En las Figuras 6.2 y 6.3 se muestran esquemas de la planta de tratamiento (Tomado de Biotecnología Ambiental S.A. de C.V.). Con objeto de que se comprenda de mejor manera la distribución y el funcionamiento este sistema.

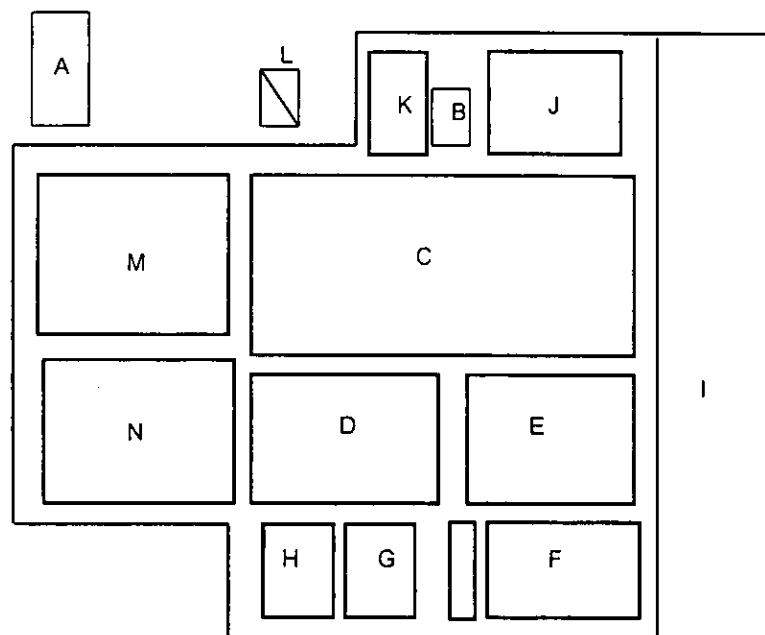


Figura 6.2. Diagrama de la PTAR

Nomenclatura:

- A Cárcamo de alimentación
- B Malla Hycor
- C Tanque de igualación
- D Bio-Torre 1
- E Bio-Torre 2
- F Sedimentador secundario de lodos
- G Cárcamo de bombeo para filtro rápido

- H Filtro rápido a presión
- I Cisterna de almacenamiento de agua tratada
- J Tanque de estabilización de lodos
- K Tanque de acondicionamiento de lodos
- L Filtro prensa
- M Cuarto de máquinas
- N Cuarto para el operador

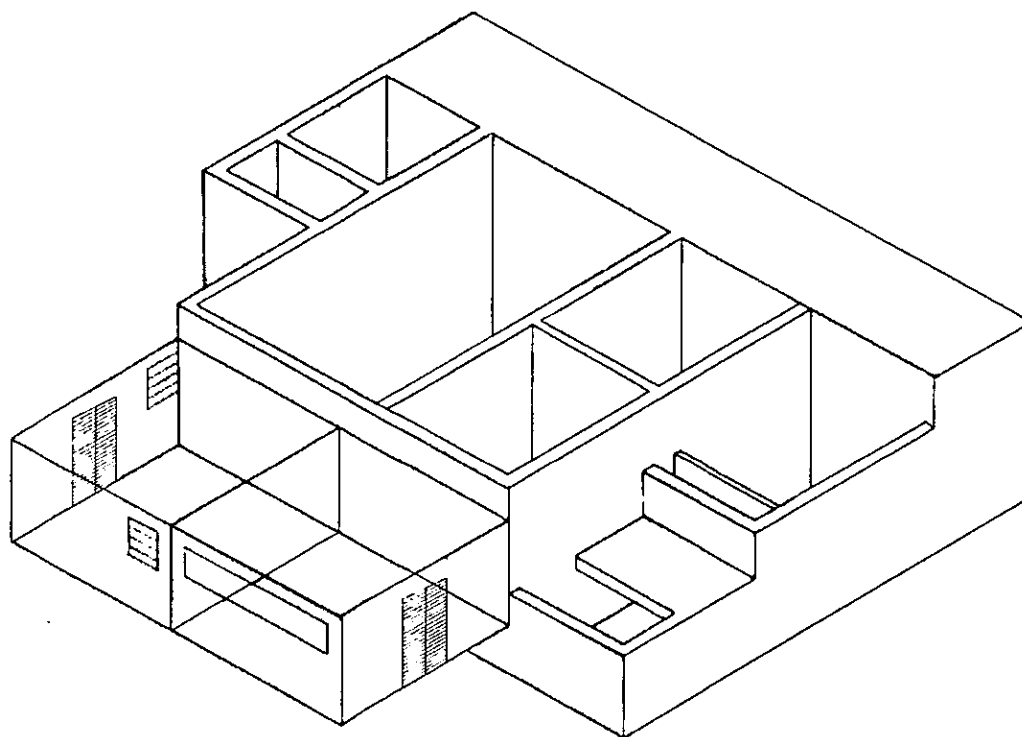


Figura 6.3. Plano Isométrico (Biotecnología Ambiental S.A. de C.V.)

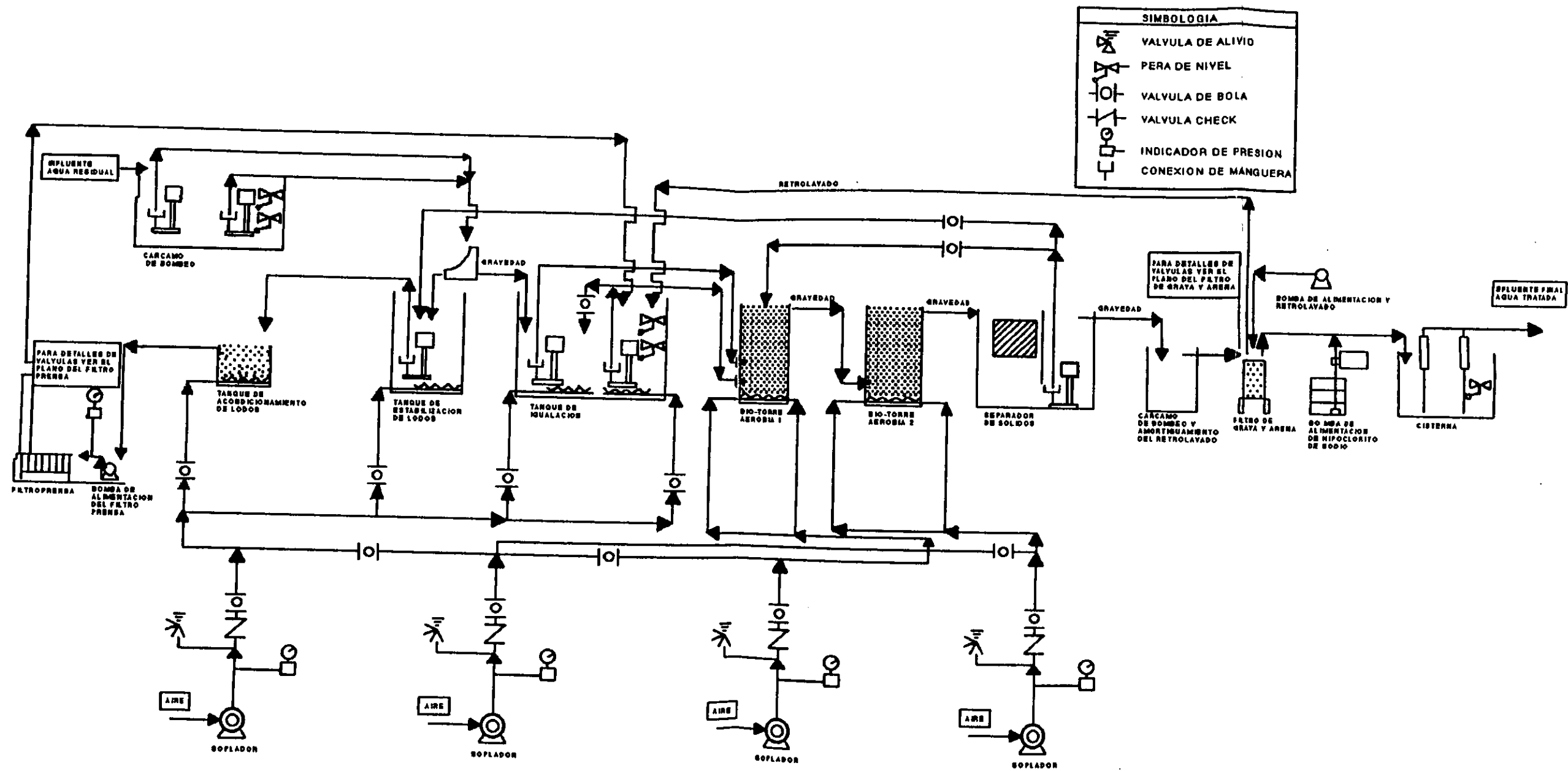


Figura 6.4 Diagrama de Tuberías e Instrumentación (Biotecnología Ambiental, S. A. de C. V.)

6.2 Pruebas de Arranque

Previo al arranque de esta planta de tratamiento se realizaron las siguientes pruebas:

Prueba de estanqueidad; la cual consiste en llenar de agua todos los tanques del sistema de la planta, realizando una inspección visual de los mismos y de tirante de agua para comprobar que no existen fugas en el sistema.

Pruebas de rodado en vacío y a plena carga. En la primera de estas pruebas se hacen trabajar todos los equipos a su capacidad de operación sin que se encuentren con ningún líquido en su interior, realizando mediciones de amperaje en los equipos y en el tablero de control. Esto se realiza para verificar que los amperajes sean iguales a los especificados en las placas de especificación de cada equipo, si no es así, se realizan los ajustes pertinentes en la pastilla de control de los equipos en el tablero.

Además de las mediciones de amperaje se realiza una revisión visual del sentido de la rotación del equipo, el cual debe ser igual al especificado en la placa de cada equipo. Para realizar las pruebas de rodado existen diversas técnicas, las cuales se explican el Anexo C.

La prueba a plena carga consiste en efectuar el mismo procedimiento antes citado con los tanques a plena carga hidráulica y con plena capacidad de los equipos (bombas, compresores, sopladores, etc.).

6.3 Parámetros de Control

Aunque los parámetros de control normales para este tipo de proceso son la carga hidráulica y la carga orgánica, éstos fueron únicamente monitoreados y no controlados, ya que el Constructor operó las instalaciones en función de la generación de aguas residuales en las dependencias a las que se da servicio la planta y no mediante la utilización del tanque de homogeneización, el cual fue utilizado solo como un tanque de preaireación.

Para conocer las condiciones de operación de la planta y con esto las cargas hidráulicas y orgánicas se realizaron mediciones de flujo de forma puntual, generalmente entre las 12:00 y 14:00 horas, ya que fue en este periodo de tiempo cuando se presentó el mayor flujo en la instalación. Se tomó este criterio debido a la forma de operar, que como ya se especificó, ésta planta era alimentada de acuerdo a la generación de aguas residuales en las dependencias.

Posteriormente se realizaron estas mediciones con el objeto de disponer de información para generar las muestras compuestas, que fueron analizadas para determinar la calidad del agua.

Para realizar la determinación del flujo se empleó un recipiente de un volumen determinado (12,5 L) y un cronómetro. Se realizaban varias mediciones del tiempo que se tomaba el agua para llegar a un nivel determinado dentro del recipiente (10 L), hasta obtener tres datos iguales; con este valor se calculaba el flujo de la planta. Estas mediciones fueron realizadas en el vertedero de salida al cárcamo de bombeo para filtro rápido, puesto que el dispositivo de medición de flujo de esta planta no opera adecuadamente, ya que el nivel hidráulico de las Bio-Torres no era el suficiente o la presencia de espuma impedía el empleo del medidor.

6.4 Variables de Respuesta

Las variables de respuesta que se monitorearon en esta planta de tratamiento fueron: el crecimiento de la biomasa en el licor mezclado y en la superficie de los empaques plásticos, las variaciones de concentración de sólidos suspendidos totales (SST) y de materia oxidable químicamente (DQO) en cinco puntos determinados de la planta de tratamiento.

Los puntos en los que se realizaron estas mediciones fueron en la entrada de la planta de tratamiento, específicamente en el cárcamo de bombeo de la alimentación, en la salida de la Bio-Torre 1, en la salida de la Bio-Torre 2, en el tanque de alimentación del filtro prensa y en la entrada de la cisterna.

Este último punto comenzó a ser monitoreado a partir del 10 de agosto de 1998, 28 días después del arranque de las instalaciones.

Las pruebas de DQO, SST y SSV fueron realizándose de forma puntual desde el arranque de la planta (03/08/98), hasta el inicio del periodo de pruebas especificado en las Bases Técnicas de Licitación (13/11/98), puesto que en dicho documento se solicita la elaboración de las pruebas de calidad de agua a muestras compuestas.

Se eligieron estos parámetros debido a que son determinados a través de pruebas sencillas y reproducibles, a la par de que son representativos del comportamiento de la planta.

A partir del día especificado por el Constructor, se comenzaron a realizar los análisis a las muestras compuestas, para verificar que la calidad el agua de salida cumpliera con los requerimientos especificados en las Bases Técnicas de Licitación (Tabla 6.2).

6.5 Pruebas analíticas

Los exámenes realizados al influente y efluente de la planta de tratamiento fueron realizadas de acuerdo a lo estipulado dentro de las Bases Técnicas de Licitación. Las pruebas realizadas fueron las siguientes: medición de temperatura y pH, materia flotante, sólidos suspendidos totales (SST), volátiles y sedimentables, demanda química de oxígeno (DQO) a través del método colorimétrico, nitrógeno total Kjeldahl empleando el sistema de Büchi, grasas y aceites mediante extracción Soxlet empleando como solvente hexano y cianuros con la técnica especificada en la NOM-001-ECOL-1996

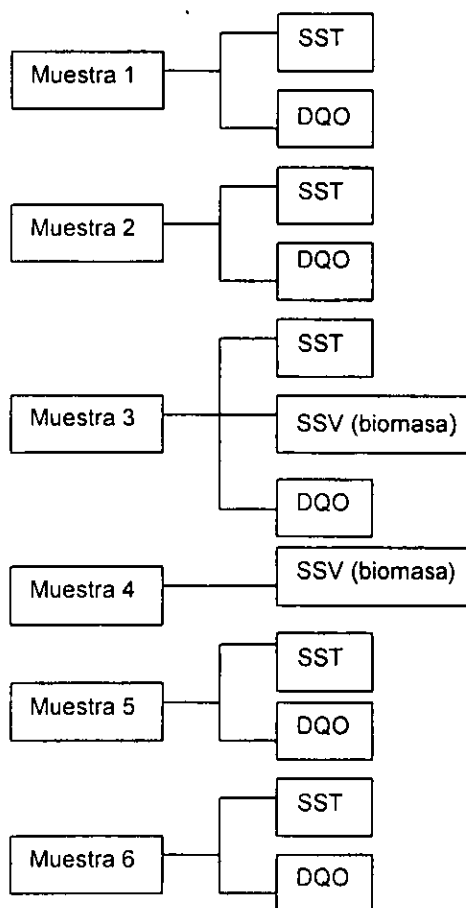
Las pruebas para la determinación del contenido de metales pesados (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc), fueron realizadas mediante el empleo de un espectrofotómetro de plasma, que es el equipo empleado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM para estos fines.

Para efectuar la determinación del crecimiento de biomasa en los empaques se siguió el procedimiento descrito en el anexo E.

Con respecto a las pruebas microbiológicas, la prueba de determinación de huevos de helminto fue realizada con la técnica contenida en el anexo de la Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-001-1996 y la técnica del Instituto de Ingeniería (Técnica de centrifugación/transparentación de la membrana), esta última es una adaptación de la técnica de la EPA (Galván, 1991) . Estas dos técnicas son en lo general similares pero difieren en la forma en que se realiza la separación de los huevos de helminto, así como la forma en la que se prepara la muestra para llevar a cabo el conteo.

La determinación de coliformes fecales se realizó mediante la técnica de filtros de membrana, en la cual se empleó un medio específico para favorecer el crecimiento de este tipo de microorganismos (medio MFC), (APHA, AWWA, "Standard methods for the examination of water and wastewater", 1996).

A continuación se muestra el diagrama de análisis de muestras (Figura 6.6).



Parte 1 (monitoreo de la PTAR)

Nomenclatura.

Muestra 1. Alimentación

Muestra 2. Bio-Torre 1.

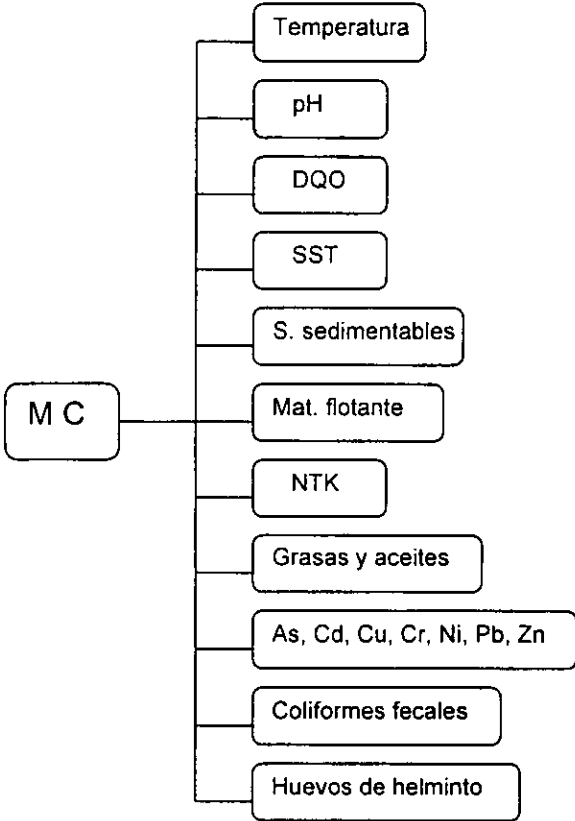
Muestra 3. Empaques.

Muestra 4. Bio-Torre 2.

Muestra 5. Sedimentador Secundario

Muestra 6. Agua tratada

Parte 2 (Calidad del agua)



Nomenclatura

MC. Muestra compuesta para cada punto de muestreo

7 Resultados y discusión

7.1 Pruebas de Arranque

Con respecto a las pruebas de estanqueidad se detectaron pequeñas filtraciones, las cuales se sellaron por si mismas debido al fraguado posterior que realizó el concreto con la misma agua que se filtraba.

Las filtraciones que no se sellaron de esta manera fueron cerradas con "Xypex", el cual es un aditivo que favorece el sellado de grietas por medio de su cristalización dentro del concreto. También pudo haberse empleado el impermeabilizante "Integral a-z", que es un compuesto químico formulado para provocar el fraguado instantáneo en mezclas de cemento. La información detallada de estos productos se encuentra en el Anexo F.

7.2 Parámetros de Control

Esta planta de tratamiento fue operada a criterio del Constructor por lo que los parámetros de control carga hidráulica y carga orgánica, fueron determinados para evaluar dicha estrategia de operación.

De acuerdo con el criterio de operación que el Constructor adoptó para operar la planta no fue posible controlar la carga hidráulica ni la carga orgánica, por lo que sólo se llevó a cabo el monitoreo de las mismas, con el objeto de conocer las condiciones de operación de la misma.

En primer lugar se presenta el hidrograma obtenido el 29/11/98 de la planta, en donde se muestra su régimen de flujo. (Figura 7.1)

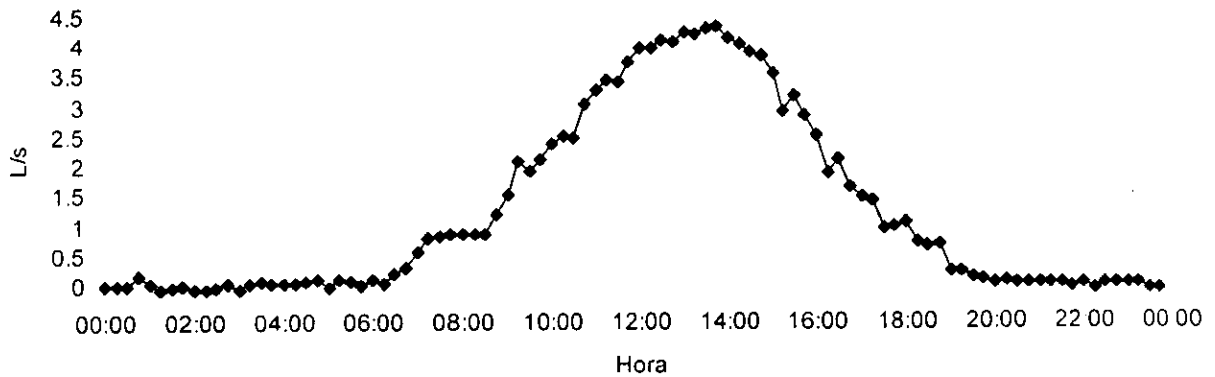


Figura 7.1 Hidrograma PTAR

De la figura anterior se obtuvieron los datos de flujo medio (1.3 L/s), flujo mínimo (0.02 L/s) y flujo máximo (4.4 L/s). El valor de flujo máximo se encuentra en el periodo comprendido entre las 13:00 y las 14:00 horas. Se empleo este gráfico para definir el horario en el que se realizarían las mediciones necesarias para conocer la carga hidráulica y la carga orgánica con los que operó la planta.

Una vez determinado el patrón de flujo, el seguimiento se dividió en dos etapas básicamente: la primera a partir de día 13/07/98, 20 días después del inicio de operación normal de la planta, esto es cuando se establece un flujo constante después del periodo de vacaciones de verano. Durante esta etapa, se monitorearon los SST y DQO con objeto de evaluar su evolución en el agua residual tratada y establecer la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). La segunda etapa inició el día 16/11/98, de acuerdo con las instrucciones del Constructor y finalizó el día 03/12/98. Esta etapa tuvo como finalidad evaluar el comportamiento de la planta mediante el muestreo compuesto del agua residual tratada y la determinación de su calidad con respecto a los criterios de las Bases Técnicas de Licitación.

En la figura 7.2 se muestran los resultados de las mediciones de flujo realizadas en la PTAR. Se observa una gran variación que se debe a la estrategia de operación elegida por el Constructor.

El flujo medio fue de 1.3 L/s, menor al flujo de diseño (7.5 L/s), lo cual puede ser atribuido al uso diferenciado del agua entre alumnos y personal administrativo y académico (Anexo H).

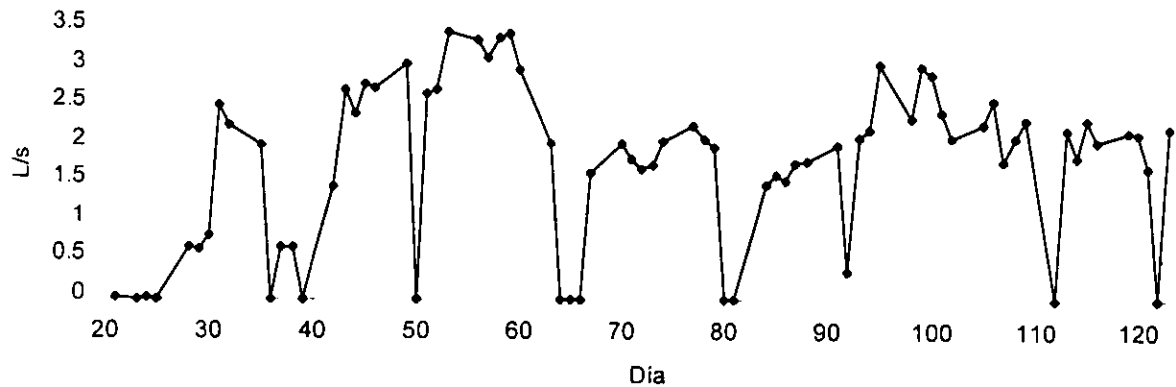


Figura 7.2. Flujo (Medición a las 13:00 horas)

Al observar éste que la PTAR no recibía el flujo de diseño dio orden de que se manejara la planta de forma discontinua, de acuerdo con el criterio del operador, puesto que éste debe definir visualmente si era o no necesario arrancar o detener las bombas de alimentación a las Bio-Torres.

Debido a esta estrategia de operación no se mantenían constantes los niveles en los tanques, además de que se operaban las bombas de forma manual y discontinua. Estas dos variables produjeron que las mediciones obtenidas fueran fluctuantes. Hubo ocasiones en las que debido a este manejo no se registraron valores de flujo como fue en los días 23, 25, 36, 39, 80, 81 y 122.

Aunado a estos problemas se encuentran los de las descomposturas de diversos equipos de la PTAR, como sucedió en los días 64, 65 y 66, en los cuales no se registraron mediciones de flujo, pues las bombas sumergibles de la alimentación a los reactores biológicos estuvieron fuera de servicio.

Del día 67 al día 74, se manejó la PTAR por gravedad, es decir que se mantuvieron todos los tanques a un mismo nivel. En este caso los contenidos de los tanques de acondicionamiento de lodos y las Bio-Torres se mezclaban.

El día 75 fue colocada una nueva bomba sumergible para alimentar a los reactores, pero esta tenía la mitad de la potencia (1HP) de las anteriores (2HP). Esta bomba fue la encargada de alimentar a las Bio-Torres hasta el día 123 que fue cuando se colocaron las bombas adecuadas.

El día 112 no asistió personal a la planta, por lo cual fue imposible realizar la medición del flujo correspondiente a ese día.

El problema debido al influente recibido por la planta fue apreciado desde el inicio de las operaciones de la misma, por lo cual el Constructor prefirió cambiar la estrategia de operación de la PTAR a pesar de los problemas antes citados, antes de acoplar las peras de nivel hidráulico a las condiciones de operación de la planta y colocar un juego de válvulas con las cuales se pueda controlar el flujo alimentado a las Bio-Torres.

El sistema de regulación de flujo existente posee únicamente una válvula, que solo regula la salida de una de las bombas. Para eliminar las variaciones de flujo y para controlar tanto la carga hidráulica como la orgánica se ha propuesto un sistema de regulación para la alimentación a las Bio-Torres; dicho sistema se muestra en la Figura 7.3.

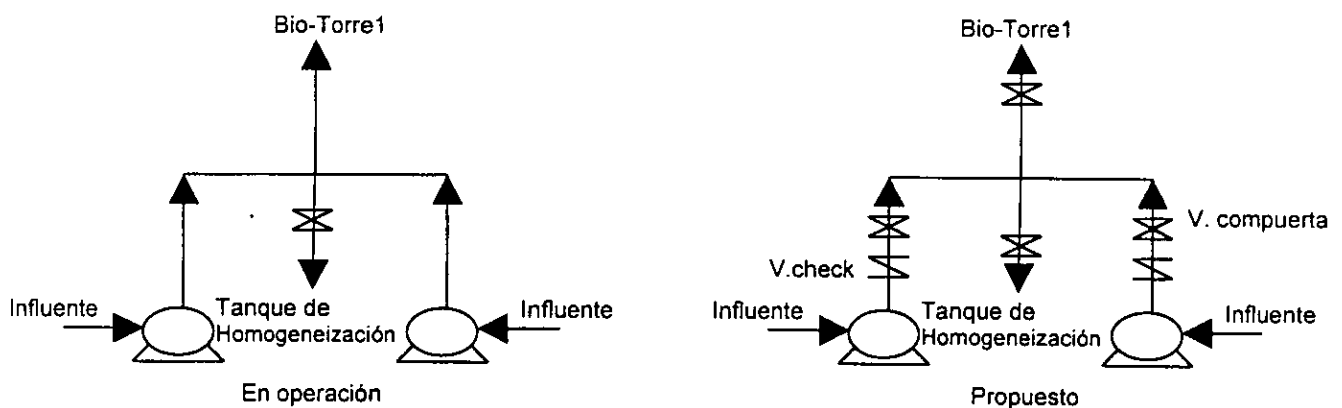


Figura 7.3 Sistema de Válvulas (En operación y propuesto)

Bajo las circunstancias en las cuales se operó la PTAR, el Constructor consideró que la alimentación de agua residual se podría realizar mediante las bombas del cárcamo de bombeo y de esta manera, para posteriores diseños, eliminar las bombas instaladas en el tanque de homogeneización para alimentar las Bio-Torres, ya que esto se haría por gravedad. Esto necesariamente implicaría modificar el perfil hidráulico de la planta, concretamente el existente entre el tanque de homogeneización y las Bio-Torres, ya que esto se haría por gravedad. Esto necesariamente implicaría modificar el perfil hidráulico de la planta, concretamente el existente entre el tanque de homogeneización y las Bio-Torres.

De esta manera, la alimentación de la planta fue de forma intermitente (de acuerdo con el funcionamiento de las bombas del cárcamo de bombeo) y dado que el flujo fue considerablemente bajo en comparación con el flujo de diseño, el tiempo de retención hidráulica (TRH), en el tanque de homogeneización fue mucho mayor al establecido para un flujo medio de 7.5 L/s, aproximadamente de 21.7 horas.

Con este patrón de operación, el concepto del proceso cambió radicalmente, ya que se utilizó el tanque de homogeneización como un tanque de aireación, semejante a un sistema de lodos activados (dado su largo tiempo de retención), con lo que las Bio-Torres quedaron limitadas en la remoción de materia orgánica. Sin embargo no se llegó a realizar la nitrificación parcial que se esperaba.

Lo anterior fue evidente en la Bio-Torre 2, la cual no presentó biomasa adherida al empaque plástico.

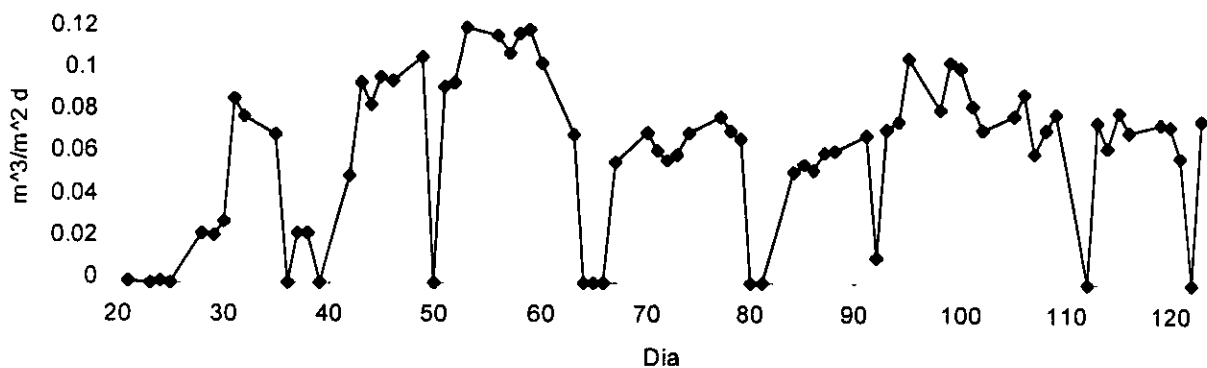


Figura 7.4 Carga hidráulica

Aunque la operación y la eficiencia de los filtros sumergidos aerobios no están influenciadas por la carga hidráulica, la Figura 7.4 muestra el patrón de carga durante el periodo de pruebas.

De la figura anterior se obtiene que la planta operó por debajo de los intervalos típicos (1.17 a 9.39 m³/m²d, Metcalf y Eddy, 1996) para sistemas de biomasa fija sumergida. Se tuvo un valor máximo registrado de 0.12 m³/m²h (2.88 m³/m²d), un valor medio de 0,06 m³/m²h (1.44 m³/m²d) y valores nulos correspondientes a los días en los que no registró flujo en el momento del monitoreo.

En la figura 7.5 se muestra el patrón que presentó la carga orgánica de la planta.

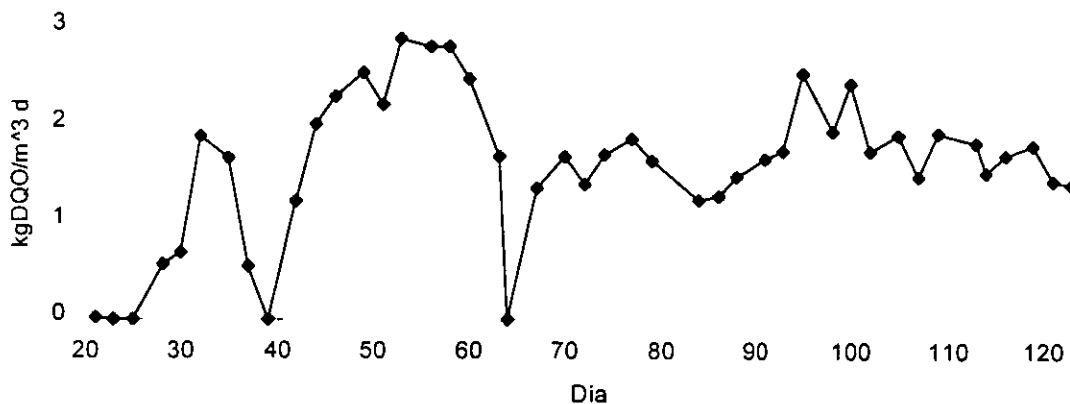


Figura 7.5 Carga orgánica

La forma en la que se realizó el cálculo se explica en el anexo D.

El valor máximo obtenido fue de 2.89 Kg DQO/m³d, mientras que el promedio suministrado fue de 1.58 Kg DQO/m³d. De lo anterior, se puede establecer que, si bien la carga suministrada se mantuvo dentro de los valores bajos característicos para este tipo de sistemas (1.4 a 4.8 Kg DQO/m³d con eficiencias de remoción entre el 65 y 80 por ciento, Metcalf y Eddy, 1996), no existió una carencia de sustrato que impidiera el desarrollo de microorganismos, lo que hubiera provocado una baja eficiencia de eliminación de DQO en el sistema. Todos los valores nulos corresponden a los problemas de operación presentados o a la falta de operación la bomba del cárcamo de bombeo, ambos aspectos ya descritos.

7.3 Variables de Respuesta

Los resultados de los parámetros considerados como variables de respuesta se describen a continuación:

El cálculo de la biomasa total incluye la generada en el licor mezclado, para lo cual se supone que éste se encuentra en un régimen de mezcla completa y la biomasa adherida al soporte, para lo cual se consideró que la concentración fue homogénea en todo el empaque.

Como puede observarse en la Figura 7.6, la biomasa inició su desarrollo a partir del día 50, con un incremento prácticamente constante. El crecimiento de la biomasa sobre los empaques plásticos en la Bio-Torre 1, fue apreciable a partir del día 11 de operación.

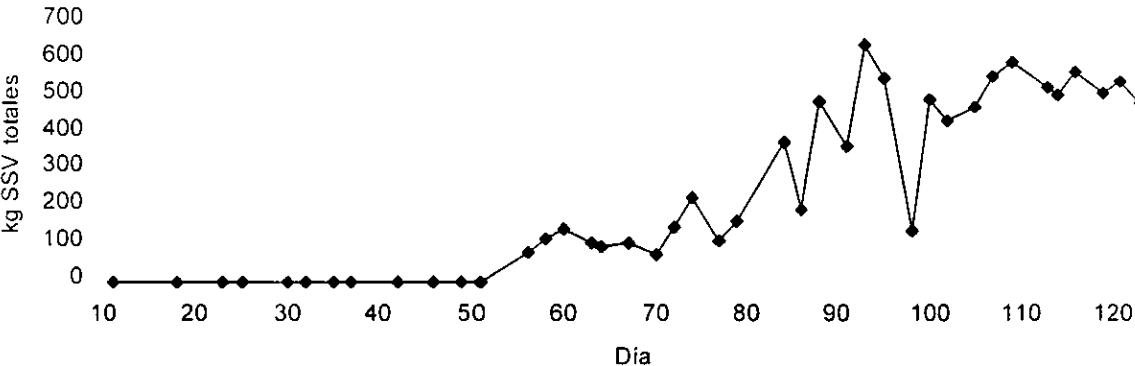


Figura 7.6 Biomasa total

En la Figura 7.7 se muestran los valores obtenidos de Kg SSV/Kg DQO rem. De acuerdo a lo especificado en la literatura se esperaba obtener un rendimiento de biomasa de 0.15 Kg SSV/Kg DQO rem, para una carga de 1.58 Kg DQO/m³d (Morgan-Sagastume *et al*, enviado a publicación, 0.05 a 0.2 Kg SSV/Kg DQO rem para cargas de 0.45 a 3.1 Kg DQO/m³d). En el presente trabajo se observó un valor medio de 0.31 Kg SSV/Kg DQO rem.

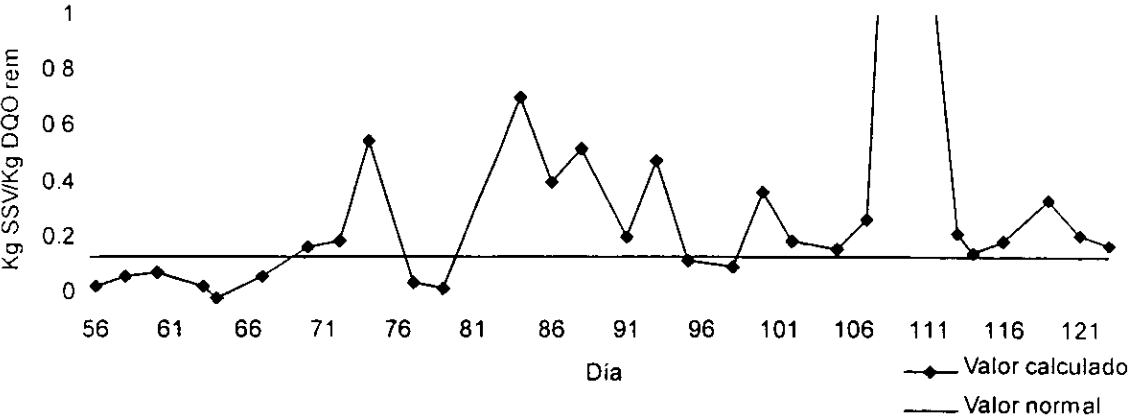


Figura 7.7 Producción específica de biomasa

En lo referente a la DQO, la Figura 7.8, muestra la totalidad de los resultados de las pruebas realizadas al influente y al efluente de la planta.

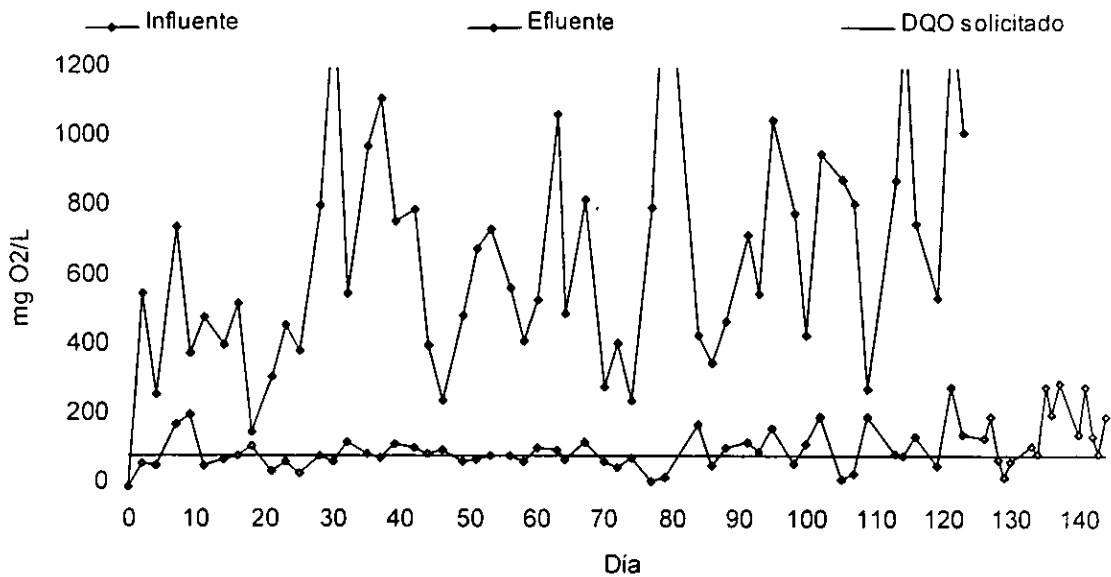


Figura 7.8 DQO total

Es importante aclarar que las pruebas que se muestran son resultados de muestras puntuales al influente y al efluente desde el día 0 hasta el día 123 y que a partir de este día los resultados provienen de muestras compuestas obtenidas del efluente de la planta de tratamiento.

De las pruebas realizadas se obtuvo que la planta presentó una remoción del 79 por ciento, la cual es adecuada con respecto a lo reportado en la literatura para este tipo de proceso que es de 80 % para cargas orgánicas entre 0.45 a 3 Kg DQO/m³d (Morgan-Sagatume *et al.*, enviado a publicación), dado que la carga orgánica promedio es de 1.58 Kg DQO/m³d.

De la misma Figura 7.8, se puede observar que no obstante que se tiene una eliminación de DQO considerable, la instalación nunca cumplió al menos por 15 días consecutivos, el criterio de calidad establecido en las Bases Técnicas de Licitación, las cuales establecieron una DQO del efluente de 90 mg DQO/L (30 mg DBO/L). Esto fue más evidente a partir del día 84, cuando por problemas presentados con el filtro prensa y con la eliminación de lodos de la PTAR, el DQO del efluente mostró valores sistemáticamente mayores a los establecidos en los criterios de calidad.

El incremento que se presentó a partir del día 129 fue atribuido a la descompostura de la bomba de alimentación del filtro prensa, ya que al no poder eliminar los lodos obtenidos del sistema, el Constructor optó por recircularlos al mismo, lo cual afectó la calidad del agua obtenida, aumentando la concentración de materia orgánica en el efluente.

Cabe hacer mención que esta práctica es uno de los errores más comunes en procesos de aireación extendida, puesto que se tiende a considerar que el sistema es capaz de trabajar con una recirculación total de lodos, debido a su baja tasa de producción, sin embargo esta práctica es errónea puesto que los lodos se acumulan en el sistema y lo saturan (Metcalf y Eddy, 1996). Al suceder esto, la planta dejó de cumplir con la calidad de agua esperada.

La recirculación de lodos también tuvo una consecuencia en el modo de operación del filtro rápido a presión, ya que los ciclos de retrolavado no fueron modificados con el incremento de lodo en el sistema, lo cual afectó los resultados obtenidos en lo referente a sólidos suspendidos totales, lo cual se muestra en la Figura 7.9. Estos fueron obtenidos de la misma manera que los de DQO, muestras puntuales del influente y del efluente de la planta de tratamiento del día 0 al día 123, a partir del cual se realizaron las pruebas empleando la muestra compuesta obtenida diariamente del efluente.

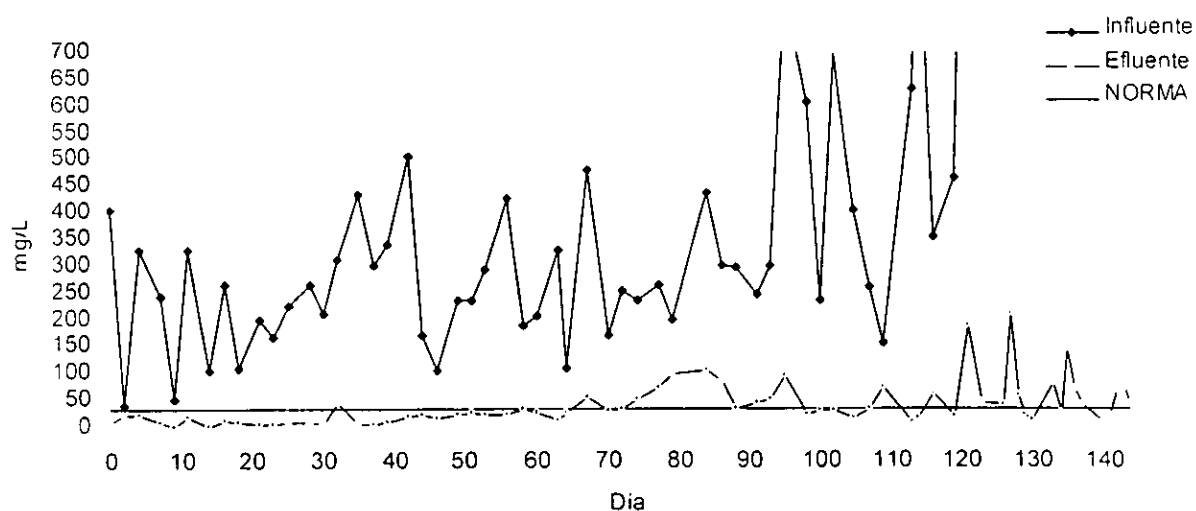


Figura 7.9 Sólidos suspendidos totales

Como se observa, los resultados de esta prueba se comienzan a salir de la norma a partir del día 67 y al igual que los resultados de DQO, este incremento se debe a la recirculación de los lodos separados en el sedimentador secundario a cabeza de planta. Esta actividad fue saturando cada vez más al sistema, lo cual generó un incremento de sólidos en el efluente.

Como se citó en el rubro de DQO, la recirculación no hace que el sistema elimine la biomasa del sistema, sino que favorece su acumulación. Esta acumulación es la que generó que no se cumplieran las características de agua tratada que se había logrado anteriormente.

El porcentaje promedio de remoción de sólidos fue de un 86 por ciento que si bien es un porcentaje alto, no es suficiente para cumplir con los valores especificados en las Bases Técnicas de Licitación, lo cual podría confirmar que la planta se encuentra mal operada.

7.4 Calidad del Agua

Como ya se ha expuesto, el funcionamiento de la planta no fue el esperado, probablemente debido a la forma de operación empleada por el Constructor.

De todas las pruebas solicitadas se decidió no realizar las pruebas de cianuros y fósforo debido a que no se habían cumplido con algunos de los parámetros requeridos, lo cual hace necesaria una nueva campaña de pruebas. Las técnicas de las pruebas realizadas se encuentran en el Anexo B

Para completar un panorama referente a la eficiencia de la planta, a continuación se muestran los resultados obtenidos en función de los parámetros solicitados por la Bases Técnicas de Licitación de este proyecto. La Tabla 7.1 muestra los resultados obtenidos en las pruebas de: pH, temperatura, sólidos sedimentables (S. Sed), DQO, SST y materia flotante.

Tabla 7.1. Resultados : pH, temperatura, S. Sed, DQO, SST y Materia flotante

| Día de operación | pH | Temperatura (°C) | S. Sed (mL/L) | DQO (mg/L) | SST (mg/L) | Materia flotante |
|------------------|---------|------------------|---------------|------------|------------|------------------|
| BTL* | 6.5-7.0 | < 40 | 1.0 | 90 | 40 | Ausente |
| 126 | 6.53 | 19.6 | 1.2 | 141 | 46 | Ausente |
| 127 | 6.30 | 19.8 | 1.0 | 203 | 217 | Ausente |
| 128 | 6.31 | 19.9 | 1.2 | 78 | 65 | Ausente |
| 129 | 6.48 | 19.3 | 0.8 | 31 | 30 | Ausente |
| 130 | 6.45 | 20.3 | 0.5 | 74 | 19 | Ausente |
| 133 | 6.34 | 21.0 | 1.4 | 120 | 86 | Ausente |
| 134 | 6.65 | 20.5 | 0.9 | 99 | 32 | Ausente |
| 135 | 6.34 | 22.0 | 2.0 | 292 | 153 | Ausente |
| 136 | 6.51 | 21.6 | 1.1 | 208 | 76 | Ausente |
| 137 | 6.50 | 22.6 | 1.0 | 300 | 48 | Ausente |
| 140 | 6.31 | 16.7 | 0.8 | 155 | 14 | Ausente |
| 141 | 6.70 | 16.9 | 0.5 | 289 | 26 | Ausente |
| 142 | 6.52 | 18.7 | 0.8 | 147 | 75 | Ausente |
| 143 | 6.84 | 19.3 | 1.2 | 94 | 80 | Ausente |
| 144 | 6.49 | 19.9 | 1.5 | 204 | 46 | Ausente |

BTL: Requerimientos contenidos en las Bases Técnicas de Licitación

Como es posible observar en la tabla anterior, los resultados tanto de temperatura como de materia flotante se encuentran dentro de lo solicitado en las Bases Técnicas de Licitación, en tanto que algunos de los resultados de pH se encuentran fuera del límite inferior de lo requerido. De igual manera, los resultados obtenidos de S. Sed muestran que ocasionalmente este parámetro sobrepasa lo requerido. Como ya se ha discutido, los resultados de SST y DQO se encuentran fuera de los límites solicitados.

Los resultados correspondientes a la prueba de determinación de coliformes fecales no pudieron ser completados debido a la pérdida de muestras por problemas con el equipo de refrigeración. Sin embargo, las determinaciones realizadas durante la semana previa a la descompostura se muestran en la Tabla 7.2.

Estos resultados se encuentran expresados en unidades formadoras de colonias (UFC) y no como número más probable (NMP), dado que se carecía del material necesario para llevar a cabo la segunda prueba.

Los resultados de UFC son obtenidos a través del conteo directo del número de colonias presentes, mientras que el método de NMP es una técnica que emplea tablas estadísticas para determinar el número de microorganismos presentes, lo cual no tiene ninguna implicación en la confiabilidad del método.

Tabla 7.2 Resultados: Coliformes fecales

| Día de operación | Coliformes/ 100 mL |
|------------------|--------------------|
| BTL* | 2,000 |
| 126 | 6,300 |
| 127 | 5,500 |
| 128 | 4,400 |
| 129 | 4,200 |
| 130 | 6,100 |

BTL: Requerimientos contenidos en las Bases Técnicas de Licitación

Los resultados de esta prueba no cumplen con las especificaciones solicitadas, esto es debido a que la dosificación existente de cloro es menor a la requerida para proporcionar la calidad esperada.

Actualmente la cloración se está realizando en línea, por medio de una bomba dosificadora la cual suministra una solución al 13 por ciento de hipoclorito de sodio, a un régimen de flujo de 75 L/d. Al unirse las corrientes se obtiene una concentración de 0.902 mg/L de hipoclorito de sodio, la cual es una concentración baja para una eficiente eliminación de microorganismos.

La concentración de cloro reportada para lograr una eliminación del 99 por ciento de los coliformes fecales es de 1.5 mg/L, con un tiempo de retención de 60 minutos (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 1981). De acuerdo con este valor, es necesario incrementar la concentración de la solución empleada en la planta al 22 por ciento. Es importante que se drene la cisterna periódicamente para que se evite la reinfestación del agua ya clorada; además, será necesario que se realice un reajuste de la dosificación de cloro cuando la PTAR se conecte a la red de riego, como se tiene planeado, puesto que es requerida la presencia de cloro residual.

Los resultados de las pruebas de cuantificación de huevos de helminto se muestran en la Tabla 7.3, éstos fueron satisfactorios cumpliendo con el valor solicitado

Tabla 7.3. Resultados: Huevos de helminto

| Día de operación | HH/L |
|------------------|------|
| BTL* | < 5 |
| 135 | N.D |
| 136 | 1 |
| 137 | N.D |
| 140 | N.D |
| 141 | 1 |
| 142 | N.D |
| 143 | N.D |

BTL: Requerimientos contenidos en las Bases Técnicas de Licitación

N.D. No detectado

Se determinaron las concentraciones de los metales pesados siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc. La Tabla 7.4 muestra los resultados obtenidos así como los requerimientos de la norma. Como se puede observar la PTAR cumplió con lo solicitado en las Bases Técnicas de Licitación (Criterio NOM-001-ECOL-1996).

Tabla 7.4. Resultados: Metales pesados

Valores expresados en miligramos por litro

| Metal | BTL | LD | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|----------|-------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Arsénico | 0.1 | 0.0591 | N.D | N.D | N.D |
| Cadmio | 0.1 | 0.0024 | N.D | N.D | N.D |
| Cobre | 4.0 | 0.0016 | N.D | N.D | N.D |
| Cromo | 0.5 | 0.0019 | N.D | N.D | N.D |
| Mercurio | 0.005 | - | - | - | - |
| Níquel | 2.0 | 0.0016 | N.D | N.D | N.D |
| Plomo | 0.2 | 0.0089 | N.D | N.D | N.D |
| Zinc | 10.0 | 0.0017 | N.D | N.D | N.D |

BTL: Requerimientos contenidos en las Bases Técnicas de Licitación

N.D: No detectado

LD: Límite de detección

Con respecto a la eliminación de grasas y aceites (GyA) en a Tabla 7.5 se muestran los resultados. Dichos resultados muestran que en algunas ocasiones la planta no cumplió con el valor diario especificado en la norma (15 mg/L), pero los resultados entran sistemáticamente dentro de promedio mensual que es de 25 mg/L. Esto puede ser atribuido al atrapamiento mecánico en las estructuras de la misma o por arrastre de la aireación tanto en el tanque de homogeneización como en las Bio-Torres. No obstante lo anterior, el Constructor tendrá que implementar lo necesario para el correcto funcionamiento de la PTAR en este aspecto.

Tabla 7.5. Resultados: Grasas y aceites.

| Día de operación | GyA (mg/L) |
|------------------|-------------|
| BTL* | 15.0 |
| 126 | 12.7 |
| 127 | 22.3 |
| 128 | 10.0 |
| 129 | 8.3 |
| 130 | 6.6 |
| 133 | 20.3 |
| 134 | 13.6 |
| 135 | 15.0 |
| 136 | 8.1 |
| 137 | 1.6 |
| 140 | 12.6 |
| 141 | 17.0 |
| 142 | 15.3 |
| 143 | 14.2 |
| 144 | 10.6 |

BTL*: Requerimientos contenidos en las Bases Técnicas de Licitación

Con respecto al Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) las condiciones de licitación solicitan una eliminación del 93 por ciento, ya que se especificó una concentración en el influente de 70 mg NTK/L y se solicitaba una concentración de 5 mg NTK/L en el efluente. Considerando la eficiencia de remoción antes citada, se hubiera esperado una concentración real en el efluente de 19 mg NTK/L, puesto que la concentración de alimentación fue mucho más alta (216 mg NTK/L, valor puntual) que el valor especificado en las Bases Técnicas de Licitación. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7.6.

Tabla 7.6 Resultados: Nitrógeno Total Kjeldahl

| Día de operación | mg NTK/L |
|------------------|----------|
| BTL* | 5 |
| 126 | 66.5 |
| 127 | 59.1 |
| 128 | 55.3 |
| 129 | 56.6 |
| 130 | 52.1 |
| 133 | 57.3 |
| 134 | 54.6 |
| 135 | 62.3 |
| 136 | 66.8 |
| 137 | 66.6 |
| 140 | 51.2 |
| 141 | 61.5 |
| 142 | 60.6 |
| 143 | 59.5 |
| 144 | 62.3 |

BTL*: Requerimientos contenidos en las Bases Técnicas de Licitación

De acuerdo con la propuesta del constructor, la planta no elimina nitrógeno, sino que solo puede llevar a cabo un proceso limitado de nitrificación ($\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_3^-$), por lo que no se puede esperar una reducción significativa en el contenido del nitrógeno del agua residual. De cualquier manera, al especificarse la forma de NTK en los límites de descarga, la conversión a nitratos es aceptable. Sin embargo, de acuerdo con el análisis tanto del tren de tratamiento establecido como del balance de masa realizado, se puede establecer que si se implementan las medidas pertinentes, esta misma planta podrá tener una reducción neta de nitrógeno operando la segunda Bio-Torre como un tanque de desnitrificación.

7.5 Propuesta para la eliminación de nitrógeno

Existen diversos procesos de desnitrificación biológica, la distinción entre éstos procesos se basa en si la desnitrificación se realiza en reactores independientes, utilizando metanol y otros compuestos como fuente de carbono orgánico o en sistemas combinados de oxidación de carbono y nitrificación-desnitrificación, utilizando agua residual o fuentes de carbono endógenas (Metcalf y Eddy, 1996).

La figura 7.10 muestra el esquema de un sistema de reactores independientes y un sistema combinado.

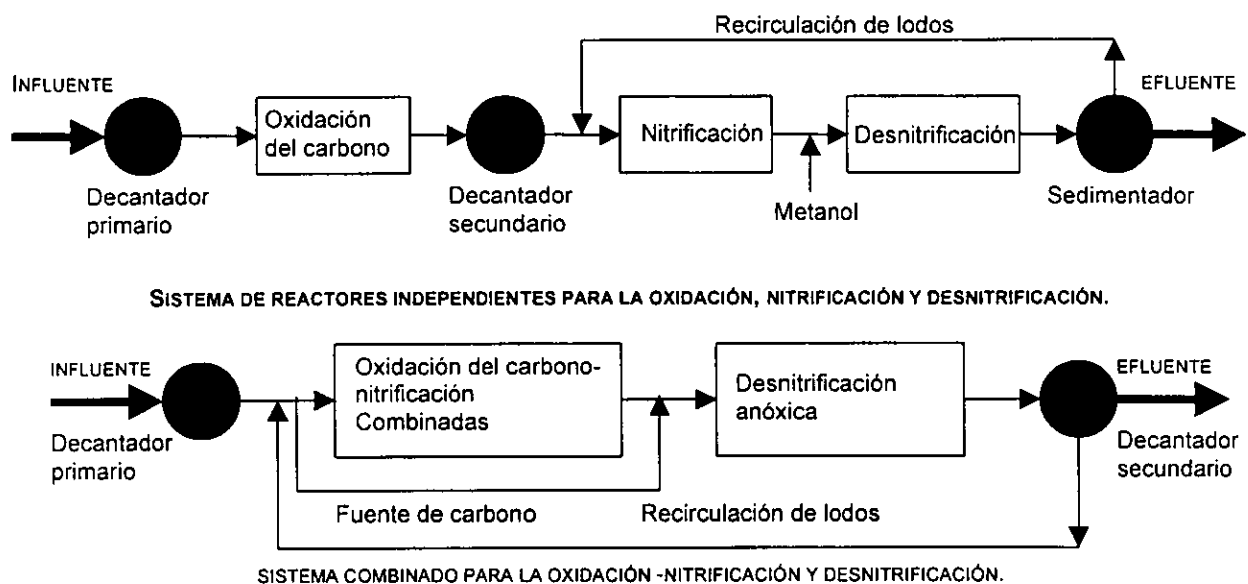


Figura 7.10 Sistemas para la oxidación del carbono, nitrificación y desnitrificación de aguas residuales.

El sistema combinado tiene varias ventajas sobre el sistema de reactores independientes, algunas de ellas son:

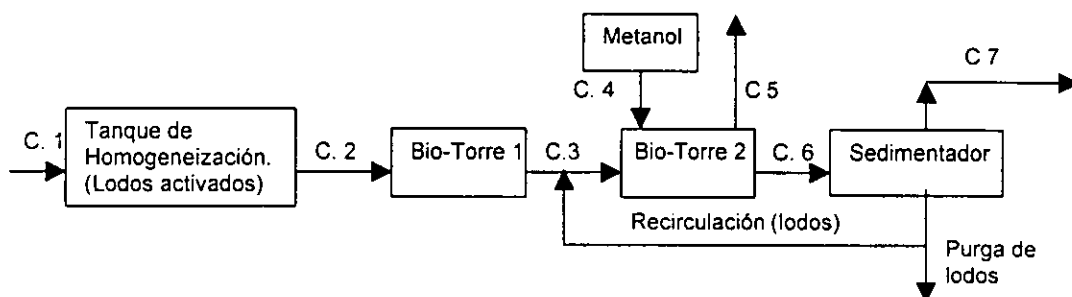
- 1ª La reducción del volumen de aire necesario para la nitrificación y la eliminación de DBO_5 , puesto que el volumen de aire requerido para el sistema combinado es menor que el requerido para airear a los dos reactores independientes.
- 2ª La eliminación de fuentes suplementarias de carbono orgánico requeridas para realizar la desnitrificación, puesto que se puede emplear una fuente interna de carbono orgánico (agua residual sin tratar).

3ª Se eliminan los clarificadores intermedios necesarios en un sistema de fases independientes de nitrificación-desnitrificación.

El esquema descrito, de un sistema combinado, puede ser relacionado con el tren de tratamiento de la planta de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, con lo que se podrá cumplir con el proceso de oxidación del carbono, nitrificación y desnitrificación.

Dado que el TRH estimado, en condiciones actuales (1.7 L/s), es de 5.7 horas por Bio-Torre aproximadamente, cuatro veces mayor que el TRH de diseño (1.3 horas por Bio-Torre). El oxígeno suministrado actualmente, 2833 Kg O₂/d, es suficiente para llevar a cabo las funciones propuestas, ya que de forma normal se requieren solo 119 Kg O₂/d, para cumplir con la oxidación de la materia orgánica y la nitrificación total del nitrógeno amoniacal de influente en la Bio-Torre 1.

De acuerdo con la propuesta, la Bio-Torre 2 se convertiría en un reactor de desnitrificación con lo que, de acuerdo con los valores reportados en la literatura (Eckenfelder, 1989), se necesitan de 4 a 5 Kg DQO/Kg de nitrógeno eliminado. De acuerdo con esto se requieren 675 mg DQO/L para eliminar el total de nitrógeno presente como nitratos en la corriente de entrada a la Bio-Torre 2, lo cual se lograría mediante la alimentación de 146000L/d de líquido del tanque de homogeneización. Ante esto sería más conveniente el empleo de una fuente externa de carbono orgánico (metanol), dado que el influente de esta planta es de 149500 L/d. La Figura 7.11 muestra el proceso propuesto y el balance de materia correspondiente.



| Variable | C. 1 | C. 2 | C. 3 | C. 4 | C. 5 | C. 6 | C. 7 |
|--|--------|-------|-------|--------|------|------|--------|
| Caudal (m ³ /d) | 112.32 | - | - | 0.0095 | - | 1.74 | 112.32 |
| DQO (Kg/d) | 75.22 | 41.02 | 8.20 | - | 8.20 | - | 8.20 |
| DBO (Kg/d) | 25.07 | 13.67 | 2.73 | - | 2.73 | - | 2.73 |
| CH ₃ OH (Kg/d) | - | - | - | 7.43 | - | - | - |
| NTK (Kg /d) | 6.30 | 6.30 | 2.36 | - | 2.36 | - | 2.36 |
| N-org * | 2.36 | 2.36 | 2.36 | - | 2.36 | - | 2.36 |
| N-NH ₄ ⁺ (Kg /d)* | 3.94 | 3.94 | - | - | - | - | - |
| N-NO ₃ ⁻ (Kg /d) * | - | - | 13.32 | - | - | - | - |
| N-NO ₂ ⁻ (Kg /d) * | - | - | - | - | - | - | - |
| N ₂ (Kg /d) | - | - | - | - | - | 2.82 | - |
| Biomasa (Kg/d) | - | - | 0.51 | - | 1.45 | - | - |

* Valores de un agua residual típica, Metcalf y Eddy, 1996.

El balance de nitrógeno se encuentra en el Anexo G.

Figura 7 11 Diagrama de flujo de proceso propuesto y Balance de materia

El TRH típico para llevar a cabo la desnitrificación anóxica va de 0.2 a 2 horas, por lo cual el sistema brinda un TRH (5.7 horas) adecuado para lograr llevar a cabo la completa desnitrificación.

Para que la Bio-Torre 2 actúe como reactor anóxico es necesario eliminar la aireación existente y evitar en la medida de lo posible la mezcla de oxígeno en el medio. Sin embargo es necesario proporcionar una agitación adecuada para evitar problemas de transferencia de masa. Esto puede lograrse mediante agitadores mecánicos o bien por medio de un sistema de agitación hidráulica, el cual emplearía los tubos de aireación existentes, bombeando fluido en recirculación lo cual, requerirá de una bomba muy potente para mover el medio del reactor en forma adecuada. Para establecer las condiciones de $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ y $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$ reales, será necesario también, realizar pruebas de cinética microbiana. Con respecto a la recirculación de lodos, esta se propone que sea de 1:1, con esto se busca la eliminación de la materia orgánica contenida en el lodo que se arrastre fuera del sistema así como evitar la pérdida de biomasa.

No obstante lo anterior existen algunas desventajas en este tipo de sistemas como:

- 1° El empleo de metanol (costo asociado y precaución en su manejo)
- 2° Riesgo de presencia de metanol en exceso (DQO) en la salida final. Requiere de un control estricto basado en estequiometría.
- 3° El efluente no tiene oxígeno disuelto.

8 Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

- ✓ Las instalaciones de esta planta de tratamiento no contienen los elementos adecuados para su operación, pues se requiere la instalación de un sistema de regulación de flujo.
- ✓ La calidad del efluente cumple parcialmente con las especificaciones de las Bases Técnicas de Licitación y de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, aun cuando la planta se encuentra operando dentro de las condiciones normales para un sistema de biomasa fija sumergida.
- ✓ El procedimiento de operación no es el adecuado para cumplir con los requerimientos especificados en las Bases Técnicas de Licitación.
- ✓ La planta se encuentra trabajando debajo de las condiciones de diseño, dado que las dependencias que la alimentan no proporcionan el flujo especificado en la Licitación. Solo se recibe el 17% del flujo de diseño.

8.2 Recomendaciones

- ✓ Instalar un sistema de regulación de flujo que permita alimentar de forma constante las Bio-Torres, de forma que estas operen bajos los criterios de carga hidráulica y orgánica constantes
- ✓ Permitir la acumulación de agua en el tanque de homogeneización durante el día para así poder alimentar un flujo constante a las Bio-Torres, durante toda su operación.
- ✓ Es importante el implementar las medidas para el acondicionamiento de lodos y así incrementar la eficiencia del filtro prensa.

- ✓ Es importante mejorar el proceso de cloración, puesto que la concentración de coliformes fecales presentes en el efluente es muy alta.
- ✓ Se recomienda probar el sistema de desnitrificación propuesto para determinar si es posible eliminar nitrógeno con esta planta.

9. Bibliografía

APHA-AWWA-WPGF. Métodos Normalizados. Para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid. Ediciones Díaz Santos. 1992.

ARNAL, L y M. BETANCOURT. Nuevo Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. México. Trillas. 1996.

COORDINACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. Control Ecológico del Campus. Mexico, D.F. UNAM. 1994

CHUDOBA, P, *et al.* A new fixed-film mobile bed bioreactor for denitrification of wastewaters. 19º IAWQ Bienal Conference, Vancouver, Canadá, Junio 21-26, 1998.

DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK. Manual de tratamiento de Aguas. México, Editorial Limusa. 1981.

DROSTE, R.L. Theory and practice of water and wastewater treatment. USA. John Wiley & sons. 1997.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. Norma Oficial Mexicana NOM- 001- ECOL- 1996. Lunes 6 de enero de 1997.

ECKENFELDER, W. W. Industrial water pollution control. Singapore. Mc-Graw Hill. 1989.

GALVAN, G.M. Investigación y desarrollo de indicadores microbiológicos de calidad del agua para el control de procesos de desinfección en plantas potabilizadoras. Proyecto 9368, México, DF. Instituto de Ingeniería, UNAM. 1991.

MANCEBO DEL CASTILLO STERNENFELS, U. Evaluación del funcionamiento de un Sistema de Tratamiento Anaerobio In Situ para Aguas Residuales Generadas en el Campus Universitario. Facultad de Ingeniería, UNAM. Tesis de Licenciatura. México, 1998.

METCALF y EDDY. Wastewater Engineering. Treatment/Disposal/Reuse, USA. 1996.

MORGAN-SAGASTUME, R.M. Bautista-García y A. Noyola. Evaluation of an anaerobic submerged filter (ASF) packed with volcanic scoria. Enviado a publicación..

MORGAN-SAGASTUME, J. M, B. Jiménez y A. Noyola. Anaerobic-Anoxic-aerobic process with recycling and separated biomass for organic carbon and nitrogen removal from wastewater. Environmental technology, 1993. Vol. 15, pp 233-243.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, ACADEMIA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, A. C., ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERIA, A. C. El Suministro de Agua en la Ciudad de México. Washington, D. C., National Academy Press. 1995.

NOYOLA, A, S. Ortega y J. Villa: Informe sobre aguas residuales proyecto de PTAR en la zona denominada de los geos. (Proyecto 8348) México, D.F. Instituto de Ingeniería, UNAM. 1999

NOYOLA, A, J. Samano y J. Lopez. Apoyo técnico para selección, supervisión y recepción de las plantas de tratamiento para aguas residuales en el campus universitario. Proyecto 5307. México, D.F. Instituto de Ingeniería, UNAM. 1995

SÁMANO CASTILLO, J. S. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Estudio Comparativo de la Factibilidad Técnico-Económica en Conjuntos Habitacionales. Facultad de Química, UNAM. Tesis de Licenciatura, México, 1993.

ANEXO A TABLAS DE RESULTADOS.

Tabla A.1 Flujo (Medición puntual; 13:00)

| Día | Flujo (L/s) |
|-----|-------------|
| 21 | 0,03 |
| 23 | 0 |
| 24 | 0,02 |
| 25 | 0 |
| 28 | 0,67 |
| 29 | 0,63 |
| 30 | 0,89 |
| 31 | 2,5 |
| 32 | 2,26 |
| 35 | 2,00 |
| 36 | 0 |
| 37 | 0,66 |
| 38 | 0,67 |
| 39 | 0 |
| 42 | 1,45 |
| 43 | 2,72 |
| 44 | 2,40 |
| 45 | 2,78 |
| 46 | 2,74 |
| 49 | 3,05 |
| 50 | 0 |
| 51 | 2,65 |
| 52 | 2,72 |
| 53 | 3,45 |
| 56 | 3,35 |
| 57 | 3,12 |
| 58 | 3,37 |
| 59 | 3,42 |
| 60 | 2,98 |
| 63 | 2,02 |
| 64 | 0 |
| 65 | 0 |
| 66 | 0 |
| 67 | 1,63 |
| 70 | 2,03 |
| 71 | 1,81 |
| 72 | 1,67 |

Continuación

| Día | Flujo (L/s) |
|-----|-------------|
| 73 | 1,74 |
| 74 | 2,05 |
| 77 | 2,24 |
| 78 | 2,06 |
| 79 | 1,97 |
| 80 | 0 |
| 81 | 0 |
| 84 | 1,49 |
| 85 | 1,60 |
| 86 | 1,53 |
| 87 | 1,76 |
| 88 | 1,79 |
| 91 | 2,00 |
| 92 | 0,35 |
| 93 | 2,10 |
| 94 | 2,19 |
| 95 | 3,05 |
| 98 | 2,35 |
| 99 | 3,02 |
| 100 | 2,91 |
| 101 | 2,43 |
| 102 | 2,08 |
| 105 | 2,28 |
| 106 | 2,57 |
| 107 | 1,78 |
| 108 | 2,09 |
| 109 | 2,32 |
| 112 | 0 |
| 113 | 2,20 |
| 114 | 1,84 |
| 115 | 2,34 |
| 116 | 2,06 |
| 119 | 2,18 |
| 120 | 2,16 |
| 121 | 1,72 |
| 122 | 0 |
| 123 | 2,22 |

Máximo = 3,45L/s

Mínimo = 0 L/s

Media = 1,73 L/s

Desviación estándar = 1,0577

Tabla A.2 Carga Hidráulica. (13:00 horas)

| Día | H (m ³ /m ² h) |
|-----|--------------------------------------|
| 21 | 0.001 |
| 23 | 0 |
| 24 | 0.001 |
| 25 | 0 |
| 28 | 0.024 |
| 29 | 0.022 |
| 30 | 0.029 |
| 31 | 0.088 |
| 32 | 0.079 |
| 35 | 0.070 |
| 36 | 0 |
| 37 | 0.023 |
| 38 | 0.024 |
| 39 | 0 |
| 42 | 0.051 |
| 43 | 0.095 |
| 44 | 0.084 |
| 45 | 0.097 |
| 46 | 0.096 |
| 49 | 0.107 |
| 50 | 0 |
| 51 | 0.093 |
| 52 | 0.095 |
| 53 | 0.121 |
| 56 | 0.118 |
| 57 | 0.110 |
| 58 | 0.118 |
| 59 | 0.120 |
| 60 | 0.104 |
| 63 | 0.071 |
| 64 | 0 |
| 65 | 0 |
| 66 | 0 |
| 67 | 0.057 |
| 70 | 0.071 |
| 71 | 0.063 |
| 72 | 0.059 |

Continuación

| Día | H (m ³ /m ² h) |
|-----|--------------------------------------|
| 73 | 0.061 |
| 74 | 0.072 |
| 77 | 0.079 |
| 78 | 0.072 |
| 79 | 0.069 |
| 80 | 0 |
| 81 | 0 |
| 84 | 0.052 |
| 85 | 0.056 |
| 86 | 0.054 |
| 87 | 0.062 |
| 88 | 0.063 |
| 91 | 0.070 |
| 92 | 0.012 |
| 93 | 0.074 |
| 94 | 0.077 |
| 95 | 0.107 |
| 98 | 0.082 |
| 99 | 0.106 |
| 100 | 0.102 |
| 101 | 0.085 |
| 102 | 0.073 |
| 105 | 0.080 |
| 106 | 0.090 |
| 107 | 0.062 |
| 108 | 0.073 |
| 109 | 0.081 |
| 112 | 0 |
| 113 | 0.077 |
| 114 | 0.064 |
| 115 | 0.082 |
| 116 | 0.072 |
| 119 | 0.076 |
| 120 | 0.076 |
| 121 | 0.060 |
| 122 | 0 |
| 123 | 0.078 |

Máximo = 0.121 m³/m² d

Mínimo = 0.001 m³/m² d

Media = 0.061 m³/m² d

Desviación estándar = 0.037

Tabla A.3 Carga Orgánica. (13:00)

| Día | kg DQO/m ³ d |
|-----|-------------------------|
| 21 | 0,03 |
| 23 | 0 |
| 25 | 0 |
| 28 | 0.56 |
| 30 | 0.69 |
| 32 | 1.89 |
| 35 | 1.68 |
| 37 | 0.56 |
| 39 | 0 |
| 42 | 1.22 |
| 44 | 2.01 |
| 46 | 2.30 |
| 49 | 2.55 |
| 51 | 2.22 |
| 53 | 00.89 |
| 56 | 2.81 |
| 58 | 2.82 |
| 60 | 2.49 |
| 63 | 1.69 |
| 64 | 0 |
| 67 | 1.36 |
| 70 | 1.70 |
| 72 | 1.40 |
| 74 | 1.72 |
| 77 | 1.88 |
| 79 | 1.65 |
| 84 | 1.25 |
| 86 | 1.28 |
| 88 | 1.50 |
| 91 | 1.68 |
| 93 | 1.76 |
| 95 | 2.55 |
| 98 | 1.97 |
| 100 | 2.44 |
| 102 | 1.75 |
| 105 | 1.91 |
| 107 | 1.49 |
| 109 | 1.94 |
| 113 | 1.84 |
| 114 | 1.54 |
| 116 | 1.72 |
| 119 | 1.82 |
| 121 | 1.44 |
| 123 | 1.40 |

Máximo = 2.55 kg DQO/m³ d

Mínimo = 0 kg DQO/m³ d

Media = 1.71 kg DQO/m³ d

Desviación estándar = 0.3216

Tabla A.4 Biomasa.

| Día | kg de Biomasa |
|-----|---------------|
| 11 | 0,34 |
| 18 | 0,45 |
| 23 | 0,67 |
| 25 | 0,56 |
| 30 | 0,45 |
| 32 | 1,58 |
| 35 | 1,02 |
| 37 | 0,90 |
| 42 | 0,96 |
| 46 | 1,69 |
| 49 | 1,07 |
| 51 | 1,13 |
| 56 | 81,32 |
| 58 | 114,91 |
| 60 | 141,89 |
| 63 | 108,20 |
| 64 | 98,06 |
| 67 | 104,06 |
| 70 | 72,88 |
| 72 | 147,40 |
| 74 | 227,57 |
| 77 | 113,18 |
| 79 | 166,19 |
| 84 | 377,69 |
| 86 | 198,71 |
| 88 | 485,48 |
| 91 | 367,80 |
| 93 | 642,55 |
| 95 | 552,35 |
| 98 | 137,45 |
| 100 | 492,63 |
| 102 | 436,29 |
| 105 | 474,55 |
| 107 | 557,93 |
| 109 | 594,21 |
| 113 | 522,95 |
| 114 | 503,49 |
| 116 | 565,56 |
| 119 | 507,47 |
| 121 | 538,28 |
| 123 | 482,49 |

Máximo = 23,30 kg

Mínimo = 0,17 kg

Media = 9,48 kg

Desviación estándar = 7,9571

Tabla A.5 DQO Total.

Valores en mg O₂/L

| Día | Influente | Efluente |
|-----|-----------|----------|
| 0 | - | - |
| 2 | 557,95 | 68,79 |
| 4 | 270 | 60 |
| 7 | 750 | 180 |
| 9 | 387,1 | 209 |
| 11 | 486,49 | 64,86 |
| 14 | 410,96 | 82,19 |
| 16 | 527,03 | 89,19 |
| 18 | 158,94 | 119,20 |
| 21 | 320 | 48 |
| 23 | 467,11 | 72,48 |
| 25 | 389,61 | 38,96 |
| 28 | 810,81 | 89,19 |
| 30 | 1406,60 | 74,73 |
| 32 | 557,62 | 129,40 |
| 35 | 986,30 | 98,63 |
| 37 | 1120 | 88 |
| 39 | 765,95 | 127,70 |
| 42 | 800 | 112 |
| 44 | 410,96 | 98,63 |
| 46 | 251,75 | 109,10 |
| 49 | 493,15 | 73,97 |
| 51 | 689,19 | 81,08 |
| 53 | 744,83 | 91,06 |
| 56 | 575,34 | 90,41 |
| 58 | 419,60 | 75,52 |
| 60 | 541,67 | 112,50 |
| 63 | 1075,90 | 107,60 |
| 64 | 500 | 79,17 |
| 67 | 827,60 | 132,40 |
| 70 | 291,67 | 75 |
| 72 | 416,67 | 54,20 |
| 74 | 250 | 87,50 |
| 77 | 808,08 | 16,20 |

Máximo influente = 1616,2 mg O₂/L

Mínimo influente = 158 mg O₂/L

Media influente = 669,68 mg O₂/L

Desviación estándar influente=329,7372

Continuación

| Día | Influente | Efluente |
|-----|-----------|----------|
| 79 | 1616,20 | 28,30 |
| 84 | | |
| 86 | 438,50 | 183 |
| 88 | 358,80 | 59,80 |
| 91 | 480 | 112 |
| 93 | 729,7 | 132 |
| 95 | 1058 | 172 |
| 98 | 790,5 | 68,90 |
| 100 | 440 | 124 |
| 102 | 961,60 | 20,40 |
| 105 | 884,42 | 20,10 |
| 107 | 820 | 40 |
| 109 | 282,80 | 202 |
| 113 | 885,10 | 94,68 |
| 114 | 1360 | 90 |
| 116 | 763,80 | 147 |
| 119 | 544,60 | 60,30 |
| 121 | 1362,4 | 289,30 |
| 123 | 1021 | 155,20 |

Máximo efluente = 300 mg O₂/L

Mínimo efluente = 16,2 mg O₂/L

Media efluente = 115,82 mg O₂/L

Desviación estándar efluente = 65,6082

Tabla A.6 SST

Valores en mg /L

| Día | Influente | Efluente |
|-----|-----------|----------|
| 0 | 412 | 16 |
| 2 | 46 | 28 |
| 4 | 336 | 28 |
| 7 | 248 | 14 |
| 9 | 58 | 8 |
| 11 | 336 | 25 |
| 14 | 112 | 6 |
| 16 | 272 | 18 |
| 18 | 114 | 13 |
| 21 | 204 | 11 |
| 23 | 172 | 10 |
| 25 | 232 | 13 |
| 28 | 272 | 14 |
| 30 | 216 | 10 |
| 32 | 318 | 50 |
| 35 | 442 | 12 |
| 37 | 308 | 12 |
| 39 | 348 | 16 |
| 42 | 512 | 25 |
| 44 | 176 | 28 |
| 46 | 112 | 23 |
| 49 | 240 | 28 |
| 51 | 249 | 31 |
| 53 | 298 | 30 |
| 56 | 432 | 28 |
| 58 | 196 | 41 |
| 60 | 212 | 31 |
| 63 | 336 | 19 |
| 64 | 116 | 31 |
| 67 | 488 | 61 |
| 70 | 176 | 36 |
| 72 | 260 | 39 |
| 74 | 240 | 58 |
| 77 | 272 | 80 |

Máximo influente = 1584 mg/L

Mínimo influente = 46 mg/L

Media influente = 352,46 mg/L

Desviación estándar influente=261,3674

Continuación

| Día | Influente | Efluente |
|-----|-----------|----------|
| 79 | 204 | 104 |
| 84 | 443 | 111 |
| 86 | 308 | 89 |
| 88 | 304 | 38 |
| 91 | 252 | 49 |
| 93 | 308 | 58 |
| 95 | 808 | 102 |
| 98 | 612 | 28 |
| 100 | 240 | 36 |
| 102 | 704 | 36 |
| 105 | 412 | 23 |
| 107 | 268 | 38 |
| 109 | 164 | 76 |
| 113 | 639 | 16 |
| 114 | 1060 | 22 |
| 116 | 360 | 69 |
| 119 | 472 | 25 |
| 121 | 1584 | 196 |
| 123 | 784 | 50 |

Máximo efluente = 217 mg/L

Mínimo efluente = 6 mg/L

Media efluente = 45,22 mg/L

Desviación estándar efluente=40,6111

ANEXO B

TÉCNICAS ANALÍTICAS.

Demanda Química de Oxígeno.

La materia oxidable presente dentro de un agua residual puede ser valorada a través el empleo de dicromato de potasio, como agente oxidante. En este proceso de oxidación han de reaccionar todos los compuestos presentes en dicha muestra; en este caso se empleó reflujo cerrado y una valoración colorimétrica.

Se emplean tubos de borosilicato de 20x150 mm con cuello roscado y tapa recubierta de Teflón., en los que se colocan 5 mL de la muestra o de su dilución, 3mL de una solución de dicromato de potasio 0.25N, 7 mL de reactivo de ácido sulfúrico (ácido sulfúrico concentrado con sulfato de plata) y una pizca de sulfato mercúrico como catalizador.

Se tapa el tubo y se agita cuidadosamente, ya que se pueden presentar fugas, además de que se calienta el tubo, a causa de la reacción. Se hacen duplicados de todos los tubos. Se preparan cuatro tubos empleando agua destilada en lugar de la muestra, esto son los blancos. Se separan dos blancos y se mantienen a temperatura ambiente.

Los tubos restantes son colocados en una gradilla e introducidos a una estufa precalentada a 150 °C y se dejan dentro por espacio de 2 horas. Terminado este periodo se sacan y se dejan enfriar a temperatura ambiente, aproximadamente por una hora.

Una vez fríos se titulan todos los tubos con FAS (una solución de ácido sulfúrico y sulfato ferroso amoniacal), con una concentración aproximada del 0.1 N.

Se calcula la concentración real del FAS, en normalidad, por medio de la titulación de los blancos fríos

$$NFAS = \frac{3 \times 0,25}{\text{Vol. titulación}}$$

Donde:

Vol. titulación es el volumen empleado para titular el blanco frío

Después se titulan los tubos restantes y se calcula la DQO a través de la ecuación siguiente:

$$\frac{\text{mgDQO}}{\text{L}} = \frac{(V1 - V2) \times N \text{ FAS} \times 8000}{5}$$

Donde:

V1 es el volumen de FAS empleado al titular el blanco caliente

V2 es el volumen de FAS empleado al titular la muestra

N FAS es la normalidad del titulante

Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Suspendidos volátiles.

La materia suspendida o disuelta que está contenida en un agua residual recibe el nombre de sólidos. El material que puede ser retenido en un papel filtro son los sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos volátiles corresponden a la pérdida de peso de la muestra durante la ignición a 550°C.

Para realizar la determinación de los sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV), Se requiere de tener un papel filtro de fibra de vidrio previamente secado a 550°C por 30 minutos, una vez que cumplió este tiempo se deja enfriar en un desecador y se pesa (P1).

Este papel se emplea para filtrar un volumen de muestra de 50 mL a 100 mL, el cual posteriormente se pone a secar a una temperatura de 110°C, por un tiempo mínimo de una hora; una vez cumplido este tiempo se saca, se deja enfriar en un desecador, por aproximadamente media hora y se vuelve a pesar (P2).

Después se coloca el papel filtro a ignición, a una temperatura de 550°C, por un periodo de 15 minutos, se dejan enfriar y se pesan (P3).

El resultado de los SST se obtiene a partir del cálculo siguiente:

$$\frac{\text{mg SST}}{\text{L}} = \frac{\text{P2} - \text{P1}}{\text{Vol. muestra}} \times 1 \text{ E6}$$

El resultado de SSV se obtiene a partir de:

$$\frac{\text{mgSSV}}{\text{L}} = \frac{\text{P3} - \text{P2}}{\text{Vol. muestra}} \times 1 \text{ E6}$$

Sólidos Sedimentables

Esta prueba fue realizada por medio del método gravimétrico, para lo cual es necesario determinar los SST de la muestra perfectamente mezclada.

Posteriormente se vierte la muestra en un recipiente de vidrio de 1 L y se permite que se lleve a cabo el reposo por una hora. Al término de este periodo se extraen 250 mL de un punto intermedio entre las superficies del material sedimentado y del líquido. Se determinan los sólidos suspendidos de este líquido; estos son los sólidos no sedimentables (SNS).

Por medio de la ecuación siguiente se obtiene el resultado de esta prueba:

$$\frac{\text{mgS.Sed}}{\text{L}} = \frac{\text{mgSST}}{\text{L}} - \frac{\text{mgSNS}}{\text{L}}$$

Materia flotante.

Esta prueba se realiza con una muestra de agua de 2 L, la cual se deja sedimentar por 15 minutos, después se hacen pasar las 2/3 partes del líquido a través de un tamiz, de material inerte, con abertura de 3 mm.

Se determina a simple vista si hay o no presencia de sólidos en el tamiz. El resultado de esta prueba es únicamente cualitativo.

Coliformes Fecales.

Se emplea la técnica de filtros de membrana, la cual se basa en que al pasar una muestra de agua a través de una membrana de acetato de celulosa y 0,45 micras de poro, las bacterias presentes se quedan retenidas en ella. Un supuesto es que una bacteria da lugar a una colonia, es decir, a una Unidad Formadora de Colonia (UFC). Las UFC son las que permiten estimar la densidad bacteriana en un volumen de muestra determinado.

Una vez que la muestra ha sido filtrada se coloca la membrana en una caja de Petri que contenga medio MFC (medio específico para favorecer el crecimiento de los microorganismos que nos interesan). Las cajas de Petri con las membranas son colocadas dentro de bolsas de plástico con cierre hermético a prueba de agua.

Se sumergen estas bolsas, de forma que queden completamente cubiertas por el agua, en un baño de agua a $44,5 \pm 0,2$ °C, durante 24 ± 2 horas.

Terminado este periodo se procede a realizar el conteo, las colonias típicas de coliformes fecales son pequeñas, redondas y presentan una coloración azul en la superficie.

Los resultados son reportados como UFC/100mL, a través del empleo de la fórmula siguiente:

$$\frac{\text{Coliformes}}{100\text{mL}} = \frac{\text{colonias contadas}}{\text{mL de muestra filtrada}} \times 100$$

Huevos de Helminto.

Para realizar la determinación de este parámetro se emplearon dos técnicas: la técnica especificada en el anexo de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 y la técnica de centrifugación/transparentación de la membrana, que proporcionaron resultados similares.

En la técnica de la norma se realiza de la manera siguiente: Se recolectan 5 L de la muestra en un recipiente de 8 L de capacidad, previamente desinfectado. Se deja sedimentar la muestra durante toda la noche, el sobrenadante se aspira por medio de vacío, sin agitar el sedimento.

Se filtra el sedimento a través de un tamiz de 160 μm , enjuagando también el recipiente donde se encontraban originalmente la muestra y lavar en seguida con 5 L de agua. Se recibe el filtrado en el mismo recipiente y se deja sedimentar durante la noche.

Se aspira el sobrenadante al máximo y se deposita el sedimento en una botella de centrifuga de 250 mL, incluyendo de 2 a 3 enjuagues del recipiente que los contenía y centrifugar de 1,400 a 2,000 rpm por tres minutos, de acuerdo con la centrifuga para tener 400g por 3 minutos.

El sobrenadante se decanta por vacío, asegurándose de que existe la pastilla y resuspenderla en 150 mL de una solución de 150 mL de sulfato de zinc con una densidad de 1,3.

Se procede entonces a homogeneizar la pastilla con un aplicador de madera y a centrifugar de nuevo a 400 g por tres minutos, se recupera el sobrenadante vertiéndolo en un frasco de dos litros, se diluye a un litro por medio del uso de agua destilada y se deja sedimentar durante la noche.

Se aspira al máximo el sobrenadante por vacío y se resuspende el sedimento agitando, se vierte el líquido dos tubos de centrifuga de 50 mL y se lava el recipiente 2 o 3 veces con agua destilada. Se centrifugan por tres minutos de 2,000 a 2,500 rpm (480 g).

Se proceder entonces a reagrupar las pastillas en un tubo de 50 mL y se centrifugan a 480 g por tres minutos, se resuspende la pastilla obtenida en 15 mL de solución de alcohol-ácido (ácido sulfúrico 0,1 N y etanol del 33% al 35%) y se adicionan 10 mL de éter etílico.

Se agita suavemente abriendo de vez en vez los tubos para permitir la salida de los vapores acumulados y se centrifuga de 2,500 a 3,000 rpm por tres minutos (660g). Se aspira al máximo el sobrenadante para dejar menos de 1 mL de líquido, homogeneizar la pastillas y proceder a cuantificar. Para realizar la cuantificación se distribuye todo el sedimento en una cámara de Sedgwich-Rafter y se realiza un barrido total al microscopio. Los resultados se reportan como número de huevecillos por litro.

A continuación se explica como se lleva a cabo la técnica de centrifugación/transparentación de la membrana.

Para realizar esta técnica se emplean tres litros de muestra, los cuales son filtrados a través de un filtro de gasa o de manta de cielo; del líquido se toma un litro, el cual es procesado como se indica a continuación.

Se distribuye la muestra en botellas de centrifuga de 250 mL y se centrifugan a 2,500 rpm por 5 minutos, se desechan los sobrenadantes y se resuspenden los sedimentos con una solución de Tritón X-100 al 0,01%.

Se pasa el sobrenadante a dos tubos de centrifuga de 50 mL y se centrifugan a 2,500 rpm por 5 minutos y se desechan los sobrenadantes. Se repite este proceso hasta obtener un sobrenadante claro.

Se desecha el último sobrenadante y con ayuda de solución de sulfato de zinc al 33,1%, pasar los sedimentos a un tubo de centrifuga de 50 mL, añadir más solución de sulfato de zinc hasta completar 25 mL y resuspender el sedimento. Centrifugar a 2,500 rpm durante tres minutos; repetir la operación dos veces más utilizando 15 y 10 mL de sulfato de zinc.

Todos los sobrenadantes resultantes en el paso anterior se vierten a una jeringa de 50 mL conectada a un sistema de microfiltración equipado con un filtro de membrana de 25 mm de diámetro y poros de 8 μ m, aplicando poca presión.

Añadir 25 mL de solución de yodo-yoduro de potasio y filtrar lentamente. Después se deshidrata la membrana con porciones de 10 mL de etanol al 10, 20, 40, 80 y 100% y permitir que el último enjuague se evapore.

En un portaobjetos calentado a 37°C, se coloca una gota de glicerol, esparciéndola con una varilla de vidrio y colocar encima la membrana, procurando que no queden burbujas de aire atrapadas. Se añade otra gota de glicerol y se esparce con cuidado. Se espera a que la membrana transparente.

Se monta el cubreobjetos y se observa al microscopio. Los resultados se reportan como número de huevos de helminto por litro.

Metales Pesados.

Para realizar las determinaciones de la concentración de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc se emplea un espectrofotómetro de plasma.

Para realizar estas determinaciones se emplean 50 mL de muestra, los cuales son sometidos a un proceso de digestión por medio de microondas, el cual dura aproximadamente 45 min.

Posteriormente son filtradas las muestras y se toman 2 mL, que es lo que se requiere para las determinaciones. Los resultados son reportados en partes por millón (ppm).

La determinación de mercurio no fue realizada, debido a que se generan problemas por contaminación en el quemador del equipo.

Grasas y Aceites.

Se toma un litro de muestra en un recipiente de vidrio y se acidifica con ácido clorhídrico 1:1, hasta un pH de 2 o menor.

Se filtra esta muestra en un filtro formado de la forma siguiente: se coloca en un embudo Buchner un papel filtro Whatman # 40, sobre éste se distribuyen varios papeles filtro Whatman # 4 y se cubren con un papel filtro # 40.

La parte retenida en el filtro se coloca dentro de un cartucho de celulosa, junto con papeles empapados con hexano, con los cuales se limpió el embudo Buchner, y se coloca el cartucho dentro de una estufa a 110 °C por media hora.

Se pesan matraces balón previamente lavados y puestos a peso constante. Es muy importante el no tocar este material con las manos desnudas.

Después se monta el sistema de extracción colocando 250 mL de hexano y unas cuantas perlas de vidrio en los matraces balón y se ponen a reflujo de 4 ciclos por minuto durante cuatro horas.

Una vez terminado este periodo se drena el exceso de hexano, hasta dejar el matraz sin líquido. Se dejan enfriar los matraces en un desecador y se pesan.

Los resultados se obtienen a través de la ecuación siguiente:

$$\frac{\text{mg G y A}}{\text{L}} = \frac{\text{A} - \text{B}}{\text{Vol. muestra}} * 1000$$

Donde:

A es el peso del matraz con muestra

B es el peso del matraz vacío

Vol. muestra es 1 L

Nitrógeno Total Kjeldahl.

Se adicionan a un tubo Buchi 100 mL de muestra y se le agregan 25 mL de reactivo de digestión. Se pone a calentar el digestor Buchi (números 4 o 5), hasta que comiencen a salir vapores blancos. A partir de ese momento se aumenta la temperatura del digestor (números 9 o 10) y se mantienen en digestión hasta que las muestras se tornen claras y no se sigan desprendiendo vapores.

Se dejan enfriar a temperatura ambiente, mientras se realiza el enfriamiento se observa la formación de una pastilla en el fondo del tubo. Una vez fríos se les agregan 100 mL de agua destilada y se mezcla. Posteriormente se adicionan 25 mL de reactivo de NaOH-Na₂S₂O₇ y se mezclan suavemente hasta que se disuelva la pastilla que se formó y se obtenga una solución negra homogénea.

Se prepara un blanco consistente de 100mL de agua destilada y 25 mL de reactivo de NaOH-Na₂S₂O₇.

Se destilan el blanco y las muestras por cinco minutos, recibiendo el producto de la destilación en 25 mL de solución indicadora de ácido bórico.

Como paso final se titulan estas soluciones con ácido sulfúrico 0,02 N, el fin de la titulación se observa por el cambio en el color del indicador (verde a violeta).

Para conocer la concentración de nitrógeno contenida se emplea la ecuación siguiente:

$$\frac{\text{mgNTK}}{\text{L}} = \frac{(\text{A} - \text{B})}{\text{Vol. muestra}} \times 280$$

Donde:

A es el volumen de titulante empleado con la muestra

B es el volumen de titulante empleado con el blanco

Vol. muestra es el volumen empleado de muestra (100 mL)

ANEXO C

PRUEBAS DE RODADO.

Existen diversos métodos para llevar a cabo el conteo de las revoluciones que realiza un determinado equipo de bombeo. A continuación se citan y explican brevemente varios de éstos.

- ✓ Se coloca una marca en el rotor de la bomba y se realiza el conteo de las revoluciones en forma visual, midiendo un periodo de tiempo determinado con ayuda de un cronómetro. Después se calcula el valor de revoluciones por minuto (RPM). Este proceso es empleado en equipos de rotación lenta

- ✓ A través del empleo de aparato especializado para la realización de estas mediciones como un tacómetro el cual conectamos al equipo directamente, o bien a través del empleo de un medidor conectado en la línea de salida de la bomba. Cualquiera de éstos aparatos tiene la ventaja de que nos brinda los resultados directamente.

ANEXO D CÁLCULO DE CARGAS

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Carga Hidráulica (H)

Para realizar el cálculo de este parámetro se empleó la siguiente ecuación:

$$H = \frac{Q}{A}$$

Donde:

Q es el flujo presente en esa fecha en m³/d

A es el área proporcionada por los empaques (2460,63 m²)

Los resultados fueron expresado como potencias de 1000 pues eran sumamente pequeños

Carga Orgánica (B)

Este parámetro fue calculado como se muestra a continuación:

$$B = \frac{DQO \times Q}{V}$$

Donde:

DQO es el valor de la DQO en unidades de Kg DQO/m³

Q es el flujo de esa fecha en m³/d

V es el volumen de operación de las Bio-Torres (33 m³)

ANEXO E

DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO DE BIOMASA.

En volumen de 5 L de agua ,se desprende la biomasa de tres empaques elegidos de forma aleatoria. Se toma una muestra con la cual se realiza la determinación de los sólidos suspendidos volátiles.

Para conocer el crecimiento total de biomasa, también se realiza la determinación de los sólidos suspendidos volátiles presentes en el licor mezclado y después se calcula al volumen total de la Bio-Torre.

A continuación se muestra el cálculo realizado para determinar la cantidad de biomasa que se había desarrollado en un momento determinado.

$$\text{Biomasa} = \left(\frac{\text{SSV empaques}}{3} \times 33820 \times \frac{5}{1000000} \right) + \left(\text{SSV licor} \times \frac{33000}{1000000} \right)$$

Donde:

- ✓ 3 es el número de empaques considerados para formar la muestra con la que se determinaron los SSV.
- ✓ 33820 es el número de empaques contenidos las Bio-Torres.
- ✓ 5 es el volumen empleado para realizar el lavado de los empaques plásticos en litros.
- ✓ 33000 es el volumen libre en m³ de la Bio-Torre.
- ✓ 1000000 es el factor de conversión necesario para obtener Kg como unidades del cálculo.

ANEXO F

DESCRIPCION DE SELLADORES.

Xypex

Descripción

Es un tratamiento químico fabricado en forma de un compuesto en polvo seco, está formado por cemento Portland, arena silícea tratada y varios productos químicos activos.

Usos

Este compuesto es útil para la impermeabilización y protección del concreto, a través de una reacción química en la que se generan cristales no solubles de fibras dendríticas en los poros y capilares del concreto.

Aplicación

Prepare una mezcla de **xypex** y agua la cual será aplicada como una lechada sobre toda la superficie que se desea proteger. La superficie a tratar deberá ser humedecida con agua antes de la aplicación de **xypex**, con el objeto de favorecer el fraguado y la formación de los cristales en el seno de los muros.

Si es necesario el aplicar una segunda mano esta debe de ser aplicada cuando la primera mano ha tenido su fragüe inicial, pero está todavía fresca. Puede ser necesario un humedecimiento ligero entre mano y mano.

Es necesario un periodo de curado para lograr la protección óptima; el proceso de curado consiste en aplicar un rocío ligero a la superficie, cuando el recubrimiento no será afectado por esto.

Durante el periodo de curado (3 días) el tratamiento **xypex**, deberá ser protegido contra la lluvia y el encharcamiento de agua.

Integral a-z

Descripción

Es un compuesto químico formulado para provocar fraguado instantáneo en mezclas de cemento
Producido por FESTER

Usos

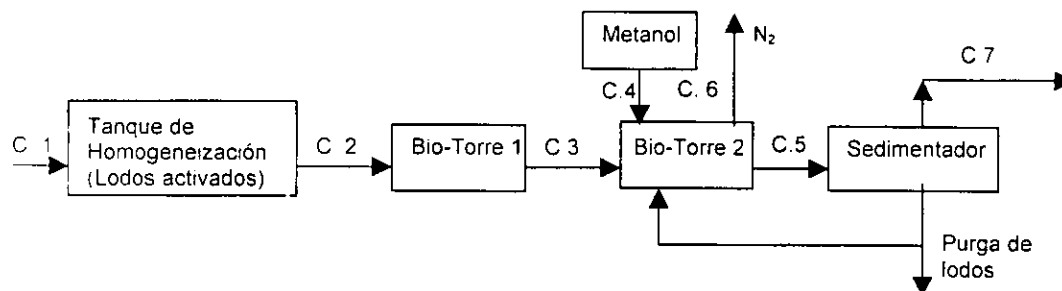
Se emplea para taponar instantáneamente fugas o entradas de agua, aún contra presiones fuertes y para aplanados impermeables en muros y pisos que presenten escurrimientos de agua.

Aplicación.

Mezcle **integral a-z** con cemento en proporciones iguales por volumen hasta formar una masa de la consistencia del masticue. Agregue unas gotas de agua, trabajando la masa sin interrupción hasta que ésta empiece a calentarse. Introduzca la masa en el boquete, prensándola por unos minutos con una jerga húmeda hasta que se endurezca.

Para aplanados, agregue el **integral a-z** al cemento y arena, a razón de 2 litros por cada 50 Kg de cemento.

ANEXO G BALANCE DE NITRÓGENO.



| Variable | C 1 | C 2 | C 3 | C 4 | C 5 | C 6 | C 7 |
|---|--------|-------|-------|--------|------|------|--------|
| Caudal (m ³ /d) | 112.32 | - | - | 0.0095 | - | 1.74 | 112.32 |
| DQO (Kg/d) | 75.22 | 41.02 | 8.20 | - | 8.20 | - | 8.20 |
| DBO (Kg/d) | 25.07 | 13.67 | 2.73 | - | 2.73 | - | 2.73 |
| CH ₃ OH (Kg/d) | - | - | - | 7.43 | - | - | - |
| NTK (Kg /d) | 6.30 | 6.30 | 2.36 | - | 2.36 | - | 2.36 |
| N-org * | 2.36 | 2.36 | 2.36 | - | 2.36 | - | 2.36 |
| N-NH ₄ ⁺ (Kg /d)* | 3.94 | 3.94 | - | - | - | - | - |
| N-NO ₃ ⁻ (Kg /d) * | - | - | 13.32 | - | - | - | - |
| N-NO ₂ ⁻ (Kg /d) * | - | - | - | - | - | - | - |
| N ₂ (Kg /d) | - | - | - | - | - | 2.82 | - |
| Biomasa (Kg/d) | - | - | 0.51 | - | 1.45 | - | - |
| N-NH ₄ ⁺ (Kg N /d)** | 3.06 | 3.06 | - | - | - | - | - |
| N-NO ₃ ⁻ (Kg N /d) ** | - | - | 3.00 | - | - | - | - |
| N-NO ₂ ⁻ (Kg N/d) ** | - | - | - | - | - | - | - |
| N ₂ (Kg /d) ** | - | - | - | - | - | 2.82 | - |
| Biomasa (Kg N/d) ** | - | - | 0.06 | - | 0.18 | - | - |

* Valores de un agua residual típica. Metcalf y Eddy, 1996.

** Valores en Kilogramos de Nitrógeno por litro.

Figura G.1. Diagrama de flujo y balance de materia del proceso recomendado para la remoción de nitrógeno.

Para la corriente C1:

Se consideró como punto de partida la determinación de NTK en el influente de la planta que fue de 6.30 Kg/d. Con el objeto de conocer los valores aproximados de nitrógeno orgánico (N. org), nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺), nitrógeno como nitritos (N-NO₂⁻) y nitrógeno como nitratos (N-NO₃⁻) en esta corriente, se tomaron los valores medios de concentración de estas especies en un agua residual típica sin tratamiento (Metcalf y Eddy, 1996), los cuales se citan a continuación:

Tabla G 1. Concentración media de las clases de nitrógeno en un agua residual típica sin tratamiento

| Constituyente | Concentración (mg/L) |
|--------------------------------|----------------------|
| NTK | 40 |
| N. org | 15 |
| N-NH ₄ ⁺ | 25 |
| N-NO ₂ ⁻ | 0 |
| N-NO ₃ ⁻ | 0 |

De estos valores se obtuvieron porcentajes, los cuales fueron empleados en la realización de este balance de materia quedando:

$$N. \text{ org} = \frac{15 \text{ mg/L}}{40 \text{ mg/L}} = 37.5 \% \text{ NTK}$$

$$N-NH_4^+ = \frac{25 \text{ mg/L}}{40 \text{ mg/L}} = 62.5 \% \text{ NTK}$$

Para calcular los kilogramos de nitrógeno por litro se empleó la siguiente relación, donde 14 es la masa atómica del nitrógeno y 18 es la masa molecular del amonio:

$$1 \text{ Kg N-NH}_4^+ = \frac{14}{18} * 1\text{Kg NH}_4^+$$

La diferencia se debe a que el valor expresado en Kg N-NH₄⁺ se refiere a la totalidad del compuesto, mientras que al expresarlo como Kg N se hace referencia únicamente al nitrógeno presente.

Quedando para la corriente C1

$$\begin{aligned} \text{NTK} &= 6.30 \text{ Kg/d (dato experimental)} & \text{N. Org} &= 2.36 \text{ Kg/d} & \text{N-NH}_4^+ &= 3.94 \text{ Kg/d} = 3.06 \text{ Kg N/d} \\ \text{N-NO}_3^- &= 0 & \text{N-NO}_2^- &= 0 \end{aligned}$$

Para la corriente C2:

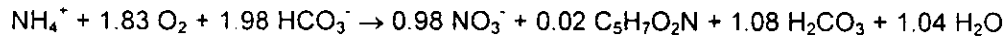
Se consideró que las concentraciones no cambiaron, dado que probablemente no se logra realizar una nitrificación apreciable en el tanque de homogeneización.

Quedando para la corriente C2

$$\begin{aligned} \text{NTK} &= 6.30 \text{ Kg/d} & \text{N. Org} &= 2.36 \text{ Kg/d} & \text{N-NH}_4^+ &= 3.94 \text{ Kg/d} = 3.06 \text{ Kg N/d} & \text{N-NO}_3^- &= 0 \\ \text{N-NO}_2^- &= 0 \end{aligned}$$

Para la corriente C3:

En esta corriente para calcular la conversión del nitrógeno amoniacal en nitratos que se lleva a cabo en la Bio-Torre 1 (Tanque aerobio) se empleó la ecuación siguiente (Gray, 1992):



En donde el término $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ representa la biomasa generada al realizarse el proceso de oxidación del nitrógeno amoniacal.

Además del uso de esta ecuación, se consideró que el TRH de la bitorre es suficiente para llevar a cabo la oxidación completa del nitrógeno amoniacal, es decir, que en la corriente de salida no hay nitrógeno como nitritos.

Los valores empleados en este balance de materia son los siguientes:

$$\text{NO}_3^- = 3.94 \text{Kg/d N-NH}_4^+ * \frac{3.3756 \text{ Kg Nitratos}}{1 \text{Kg de amoniacal}} = 13.32 \text{ Kg/d}$$

$$\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N} = 3.94 \text{ Kg/d N-NH}_4^+ * \frac{0.1256 \text{Kg Biomasa}}{1 \text{Kg de amoniacal}} = 0.51 \text{ Kg/d}$$

Para expresar los resultados en Kg N se emplearon las siguientes relaciones, donde 14 es la masa atómica del nitrógeno, 62 es la masa molecular del nitrato y 113 es la masa molecular de la biomasa.

$$1 \text{ Kg N-NO}_3^- = \frac{14}{62} * 1 \text{Kg N-NH}_4^+$$

$$1 \text{ Kg N Biomasa} = \frac{14}{113} * 1 \text{Kg Biomasa}$$

Quedando para la corriente C3

$$\begin{array}{llll} \text{NTK} = 6.30 \text{ Kg/d} & \text{N. Org} = 2.36 \text{ Kg/d} & \text{N-NH}_4^+ = 0 & \text{N-NO}_3^- = 13.32 \text{ Kg/d} = 3.00 \text{ Kg N/d} \\ \text{N-NO}_2^- = 0 & \text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N} = 0.51 \text{ Kg/d} = 0.06 \text{ Kg N/d} & & \end{array}$$

Para la corriente C4:

El único componente de esta corriente es el metanol necesario para llevar a cabo la reacción de desnitrificación.

El valor empleado en este cálculo es el siguiente:

$$\text{CH}_3\text{OH} = 13.32 \text{ Kg/d N-NO}_3^- * \frac{0.557 \text{ Kg metanol}}{1\text{Kg nitratos}} = 7.43 \text{ Kg/d}$$

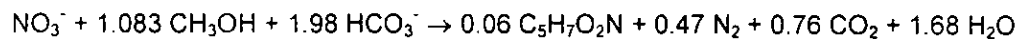
Quedando la corriente C4

$$\text{CH}_3\text{OH} = 7.43 \text{ Kg/d.}$$

$$Q = 0.0095 \text{ m}^3/\text{d} \text{ (Para obtener este valor se empleó un valor de densidad de } 780.3 \text{ Kg/m}^3\text{)}$$

Para la corriente C5:

Para calcular los cambios debidos a la reacción de desnitrificación, empleando metanol, que se propone se lleva a cabo en la Bio-Torre 2 (reactor anóxico) se consideró la ecuación global de McCarty (Metcalf y Eddy, 1996):



Al igual que en la ecuación de oxidación del nitrógeno amoniacal el término $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ representa la biomasa producida al realizar la eliminación del nitrógeno del caudal de la planta.

El valor empleado en este balance de materia es el siguiente:

$$\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N} = 13.32 \text{ Kg/d N-NO}_3^- * \frac{0.109\text{Kg Biomasa}}{1\text{Kg nitrato}} = 1.45 \text{ Kg/d}$$

Las relaciones empleadas para expresar los resultados en Kg N son las siguientes:

$$1 \text{ Kg N-NO}_3^- = \frac{14}{62} * 1\text{Kg N-NH}_3^-$$

$$1 \text{ Kg Biomasa} = \frac{14}{113} * 1\text{Kg Biomasa}$$

Quedando para la corriente C5

$$\text{NTK} = 2.36 \text{ Kg/d} \quad \text{N. Org} = 2.36 \text{ Kg/d} \quad \text{N-NH}_4^+ = 0 \quad \text{N-NO}_3 = 0 \quad \text{N-NO}_2 = 0$$

$$\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N} = 1.45 \text{ Kg/d} = 0.18 \text{ Kg N/d}$$

Para la corriente C6:

El único componente de esta corriente es el nitrógeno producto de la reacción de desnitrificación. De la reacción de McCarty se obtuvo el valor para calcular la cantidad de nitrógeno generado.

$$N_2 = 13.32 \text{ Kg/d NO}_3^- + \frac{0.212 \text{ KgN(gas)}}{1 \text{ Kg nitrato}} = 2.82 \text{ Kg/d}$$

Quedando la corriente C6

$$N_2 = 2.82 \text{ Kg/d}$$

$Q_{N_2} = 1.74 \text{ m}^3/\text{d}$ (Para obtener este valor se empleó un valor de densidad de 1.62 Kg/m^3 , que es la densidad a 585 mm Hg y 25°C)

Para la corriente C7:

Las composiciones de los compuestos solubles no cambian, únicamente se ha eliminado la biomasa que estuviera presente en el agua al salir del proceso anóxico.

Quedando la corriente C7

$$NTK = 2.36 \text{ Kg/d} \quad N. \text{ Org} = 2.36 \text{ Kg/d} \quad N\text{-NH}_4^+ = 0 \quad N\text{-NO}_3^- = 0 \quad N\text{-NO}_2^- = 0$$

La biomasa total generada por el sistema es de 2 Kg/d .

ANEXO H

COMENTARIO A LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES.

Para llevar a cabo la estimación del caudal de diseño para las plantas contempladas dentro de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales en Ciudad Universitaria, se empleó una metodología general basada en aportaciones medias de la población. Las aportaciones fueron determinaciones obtenidas estadísticamente en poblaciones de características similares a la población de estudio. En este caso se consideraron las dependencias de la zona antigua de Ciudad Universitaria, obteniéndose un caudal medio de 75 L/usuario/d, en oficinas y aulas escolares (Noyola y Sámano, 1995). En el caso de la PTAR para el área de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales se estimó un caudal de 7.5 L/s de acuerdo con las consideraciones que se muestran en la Tabla H.1.

Tabla H 1 Comparación de aportaciones reportadas en Licitación y calculadas.

| Dependencia | Población | Calculados (L/s) |
|------------------|-------------|------------------|
| FCPyS * | 6355 | 5.5 |
| I Antropológicas | 200 | 0.2 |
| Tienda UNAM | 84 | 0.1 |
| Tv UNAM | 219 | 0.2 |
| Filmoteca | 134 | 0.1 |
| TOTAL | 6992 | 6.1** |

* FCPyS Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

** Para determinar el flujo de diseño se consideró un 25 % de sobreflujo ($1.25 * 6.1 \text{ L/s} = 7.5 \text{ L/s}$)

Para evaluar la carga orgánica de ingreso a la planta fue necesario realizar la medición del gasto de operación de la misma, utilizando un equipo electrónico denominado Flo-Tote marca Marsh-McBirney. Se obtuvo un flujo medio de operación de 1.3 L/s con un caudal máximo de 4.4 L/s a las 13:45 horas y un caudal mínimo de 0.02 L/s a las 23:30 y 23:45 horas. Los valores anteriores no concuerdan con lo establecido en la Tabla H 1, sin embargo debe considerarse primer lugar que durante el periodo de monitoreo del caudal de la planta, la filmoteca no se encontraba ocupada, ya que las instalaciones estaban siendo terminadas. En segundo lugar, debe considerarse que probablemente exista un uso diferenciado del agua entre el personal administrativo, académico y alumnos, tal como lo establece el Nuevo Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 100 L/d para el personal administrativo e investigadores y 25 L/d para el personal académico y alumnado (Arnal y Betancourt, 1996).

Esto último concuerda con los resultados de la Tabla H.2 que muestra el flujo de las dependencias de la zona a la cual da servicio la planta y que se determinaron mediante las especificaciones de Arnal y Betancourt (1996)

Tabla H 2 Aportaciones calculadas de acuerdo con el Nuevo Reglamento de Construcciones del Distrito Federal

| Dependencia | POBLACIÓN | | APORTACIÓN (L/s) | | Total (L/s) |
|------------------|-------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------|
| | Alumnos | Administrativos | Alumnos | Administrativos | |
| FCPyS * | 6100 | 255 | 1.7 | 0.3 | 2.0 |
| I Antropológicas | - | 200 | - | 0.2 | 0.2 |
| Tienda UNAM | - | 84 | - | 0.1 | 0.1 |
| Tv UNAM | - | 219 | - | 0.2 | 0.2 |
| Filmoteca | - | 134 | - | 0.2 | 0.2 |
| TOTAL | 6100 | 892 | 1.7 | 1.0 | 2.7 |

* FCPyS Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.