



**“PROPUESTA TÉCNICA PARA RECUPERACIÓN DE LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y  
SOCIALES DE LA UNAM”**

---

**TESINA QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN  
INGENIERÍA AMBIENTAL PRESENTA  
*GUADALUPE GONZÁLEZ PÉREZ***

**DIRECTOR DE TESINA  
*DR. ÓSCAR GONZÁLEZ BARCELÓ***

*MÉXICO D.F., A 7 DE JUNIO DE 2013.*



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## CONTENIDO

---

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	OBJETIVO .....	2
1.2	ALCANCE .....	2
2	MARCO TEÓRICO .....	3
2.1	¿QUÉ ES UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES?.....	3
2.2.	ETAPAS DE TRATAMIENTO. ....	3
2.2.1	TRATAMIENTO PRIMARIO .....	4
2.2.2	TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	7
2.2.3	TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO. ....	11
2.3	SISTEMA SBR.....	11
3.2.2.	ETAPAS DEL SISTEMA. ....	12
4.2.2.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	13
3	ANTECEDENTES DE LA PTAR DE LA FCPYS.....	14
3.1	ÁREAS CON APORTACIONES DE AGUAS RESIDUALES.....	14
3.1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	15
4	DIAGNÓSTICO DE LA PTAR DE LA FCPYS .....	19
4.1.	CAUDALES Y CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES.....	19
4.2.	DIAGNÓSTICO DE LAS INSTALACIONES.....	22
4.2.1.	LÍNEAS DE CONDUCCIÓN .....	22
4.2.2.	EQUIPO ELECTROMECÁNICO.....	23
5.	PROPUESTA TÉCNICA .....	26
5.1.	TRATAMIENTO BIOLÓGICO .....	26
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	36
7.	ANEXOS .....	37
	ANEXO 1 PLANOS DE LA PTAR DE LA FCPYS.....	37
8.	ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	43
9.	ÍNDICE DE TABLAS.....	43
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	44



## 1 INTRODUCCIÓN

---

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales (FCPyS) es una obra importante pues logra el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la facultad en cuestión, Tienda UNAM, los edificios llamados “Los Pitufos”, entre otros; desafortunadamente la PTAR se encuentra en desuso, lo que implica que el agua residual no está siendo tratada, este hecho ha llevado al planteamiento de una solución a dicho problema, objetivo de esta tesina.

Para poder plantear una propuesta es necesario tener un objetivo el cual se describe en el Capítulo 1 “Introducción”, además es importante tener las bases teóricas que fundamentan la solución planteada, esta teoría se describe en el Capítulo 2 “Marco Teórico”, es en este capítulo donde se describen las etapas de una PTAR, así como las características del sistema SBR.

Una vez que se tiene el soporte teórico, se prosigue a mencionar los antecedentes de la PTAR, esto con el fin de tener un panorama amplio sobre el funcionamiento y operación de la misma; también es importante saber cuáles son las aportaciones de agua residual con las que se cuenta. Todo lo anterior se plantea en el Capítulo 3 llamado “Antecedentes de la PTAR de la FCPyS”.

Si bien con los capítulos anteriores ya se tiene conocimiento básico acerca de la PTAR, en el Capítulo 4 “Diagnóstico de la PTAR de la FCPyS” se plantean las características del agua residual a tratar, así como el estado actual de la PTAR.

Una vez que se tiene el diagnóstico de la PTAR, el siguiente paso es realizar la propuesta técnica la cual se realiza en el Capítulo 5 “Propuesta Técnica”, es en este capítulo precisamente donde se dan los datos de diseño para plantear una propuesta viable que de solución al problema planteado.

Finalmente, es de suma relevancia dar conclusiones y recomendaciones acerca del tema, es por ello que éstos se plantean en el Capítulo 6 “Conclusiones y Recomendaciones”



## 1.1 OBJETIVO

- Presentar una propuesta técnica viable para acondicionar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, basada en los registros proporcionados por la Dirección General de Obras y Conservación.

## 1.2 ALCANCE

- Proponer un sistema que incluya reactores discontinuos, aprovechando la infraestructura existente.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 ¿QUÉ ES UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES?

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es un conjunto de obras, instalaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, cuyo fin es obtener un producto con la calidad suficiente para cumplir con las normas de descarga o de reúso (M.I. Juan Hilario García Gil)

Visto de otra manera, una PTAR es análoga a una instalación industrial, en donde a partir de la materia prima se lleva a cabo uno o varios procesos para obtener un producto terminado. **Ver Ilustración 1**



Ilustración 1. Diagrama que muestra la analogía de una PTAR con una instalación industrial.

### 2.2. ETAPAS DE TRATAMIENTO.

En la literatura existente acerca del estudio de las plantas de tratamiento, las etapas de un tren de tratamiento se pueden clasificar de diversas maneras de acuerdo a la visión de cada autor, mientras que unos autores sólo dividen el estudio en tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario, existen otros autores que estudian cuatro etapas de tratamiento que son pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario, así mismo, existe otra clasificación de estudio la cual se divide en operaciones unitarias (procesos físicos en los cuales no cambia la composición química de la materia) y procesos unitarios (procesos químicos o biológicos en los cuales se afecta la composición química de la materia).

En vista de las diferentes divisiones de las etapas de tratamiento, este proyecto se basará en la siguiente clasificación:

- 💧 Tratamiento primario
- 💧 Tratamiento secundario
- 💧 Tratamiento terciario

## 2.2.1 TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario tiene como objetivo remover elementos gruesos, grasas, arenas, sólidos suspendidos y materia orgánica, los cuales afectarían el tratamiento total y el eficiente funcionamiento de las máquinas, equipos e instalaciones de la PTAR. Es importante mencionar que el tratamiento primario se basa exclusivamente en operaciones unitarias.

Los elementos y operaciones unitarias de una PTAR, correspondientes al tratamiento primario, son los siguientes:

### 2.2.1.1 EMISOR DE LLEGADA.

Los emisores de llegada son la parte de la red de alcantarillado que conduce el agua residual a la planta de tratamiento. Los emisores se diseñan para operar a gravedad o presión, de acuerdo a las características particulares de cada proyecto (Enrique César Valdez, Alba B. Vázquez González). **Ver Ilustración 2.**



Ilustración 2. Ejemplo de emisores de llegada.

### 2.2.1.2 TRAMPAS DE GRASA.

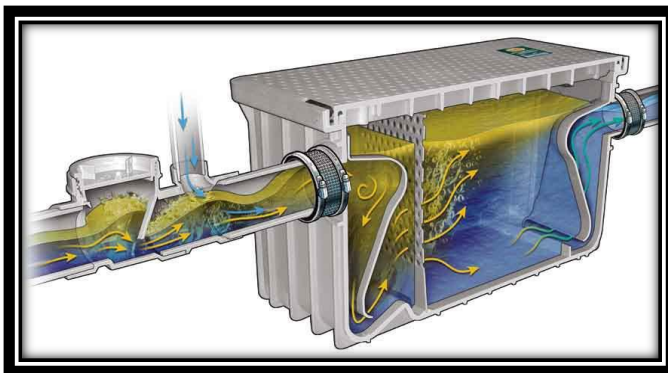


Ilustración 3. Funcionamiento de una trampa de grasa

Este tipo de tratamiento se basa en el concepto de densidad. Las grasas y aceites al ser menos densas que el agua, suben a la superficie, logrando así que el agua fluya por la parte inferior y siga su transcurso de tratamiento. La mayoría de las trampas de grasas son unas estructuras tipo caja, como se muestra en la **Ilustración 3.**

### 2.2.1.3 CRIBADO O REJILLAS.

El propósito de las cribas y rejillas es proteger a las bombas y otros equipos electromecánicos; así como prevenir el atascamiento de válvulas.

Existen varios tipos de rejillas, pudiéndolas clasificar conforme a distintos criterios.

a) **Criterio de inclinación de la rejilla. Haciendo referencia a la posición de las rejillas, se distinguen en:**

- 💧 Verticales.
- 💧 Inclinadas.
- 💧 Curvas.

b) **Criterio de la separación libre entre barras. Se clasifican en:**

- 💧 Finas.
- 💧 Medias.
- 💧 Gruesas.

Si bien no existe un criterio único para la clasificación anteriormente mencionada, se puede considerar como rejillas finas aquellas en que la separación libre de aberturas es inferior a 1.5 cm; para las rejillas medias la separación oscila entre 1.5 y 5 cm y, para el desbaste grueso se emplean rejas de abertura ente 5 y 15 cm (Aurelio Hernández Muñoz).

c) **Criterio de la limpieza de las rejillas. En este criterio, las rejillas se dividen en:**

- 💧 Limpieza manual.

Recomendable para instalaciones pequeñas, es decir, PTAR con caudales bajos, menores a 0.05 m<sup>3</sup>/s (Enrique César Valdez, Alba B. Vázquez González). **Ver Ilustración 4.**

- 💧 Limpieza mecánica.

Recomendable para PTAR con caudales considerables. El automatismo del sistema limpiador puede ser regulado, ya sea con intervalos de tiempo fijo o con intervalos de tiempo modificado con arreglo al grado de obstrucción de la rejilla. **Ver Ilustración 5.**



Ilustración 4. Rejilla de limpieza manual.



Ilustración 5. Rejilla de limpieza mecánica.



#### 2.2.1.4 DESMENUZADORES

Un desmenuzador es un triturador que despedaza y troncha sólidos que pasan a través de las rejillas. Posteriormente, el material despedazado se remueve del agua residual por sedimentación o flotación. **Ver Ilustración 6.**

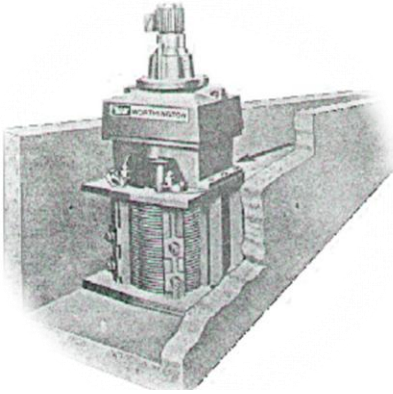


Ilustración 6. Desmenuzador típico.

El dispositivo consiste de un tambor vertical revolvente con una malla de abertura de 6 mm (1/4 pulg) en los dispositivos pequeños y 9.5 - mm (3/8 pulg) en los grandes. El tambor funciona prácticamente sumergido y está provisto de dientes y barras cortantes. El material grueso es cortado por estos elementos al pasar por un peine estacionario, dicho material pasa a través de las aberturas de la malla y fluye hacia abajo del tanque hacia un sifón invertido, de donde pasa al canal desarenador.

Existen otros tipos de desmenuzadores y su complejidad depende de las necesidades del proceso

#### 2.2.1.5 DESARENADORES

El objetivo de un desarenador es separar los elementos pesados en suspensión (arenas, arcillas, limos) que lleva el agua residual. El propósito de separar la arena del material orgánico susceptible de putrefacción es evitar depósitos de arena en los tanques de aireación, obstrucción de tuberías, desgaste de rastras en sedimentadores, bombas, etc. (Enrique César Valdez, Alba B. Vázquez González).

El procedimiento utilizado, para proceder a la separación de la arena del agua residual, consiste en provocar una reducción de la velocidad del agua por debajo de los límites de precipitación de los granos de dichas arenas, pero por encima de los de sedimentación de la materia orgánica. De no cumplirse esta última condición, se producirían depósitos de materia, susceptibles de fermentación, que producirían malos olores y serían de incómodo manejo.

#### 2.2.1.6 MEDIDORES DE CAUDAL

Si bien los dispositivos de medición de caudal no remueven material alguno, son esenciales para la operación de las PTAR.

Algunos ejemplos de medidores son los siguientes:

- 💧 Canal Parshall. **Ver Ilustración 7**
- 💧 Vertedores
- 💧 Medidores de inducción magnética

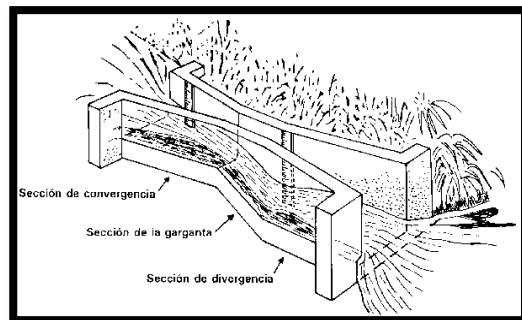


Ilustración 7. Ejemplo de Canal Parshall

### 2.2.1.7 TANQUES DE IGUALACIÓN U HOMOGENEIZACIÓN

La función de estos tanques es amortiguar las variaciones de las descargas de aguas residuales con el fin de tratar un gasto uniforme.

El volumen necesario para un tanque de igualación se estima mediante un balance de masa del gasto entrante a la planta con el gasto promedio para el que la planta está diseñada.

### 2.2.1.8 SEDIMENTADORES PRIMARIOS

La sedimentación primaria es una operación unitaria diseñada para concentrar y remover sólidos suspendidos del agua residual. Existen distintos tipos de sedimentación. **Ver Ilustración 8.** Tipos de sedimentación

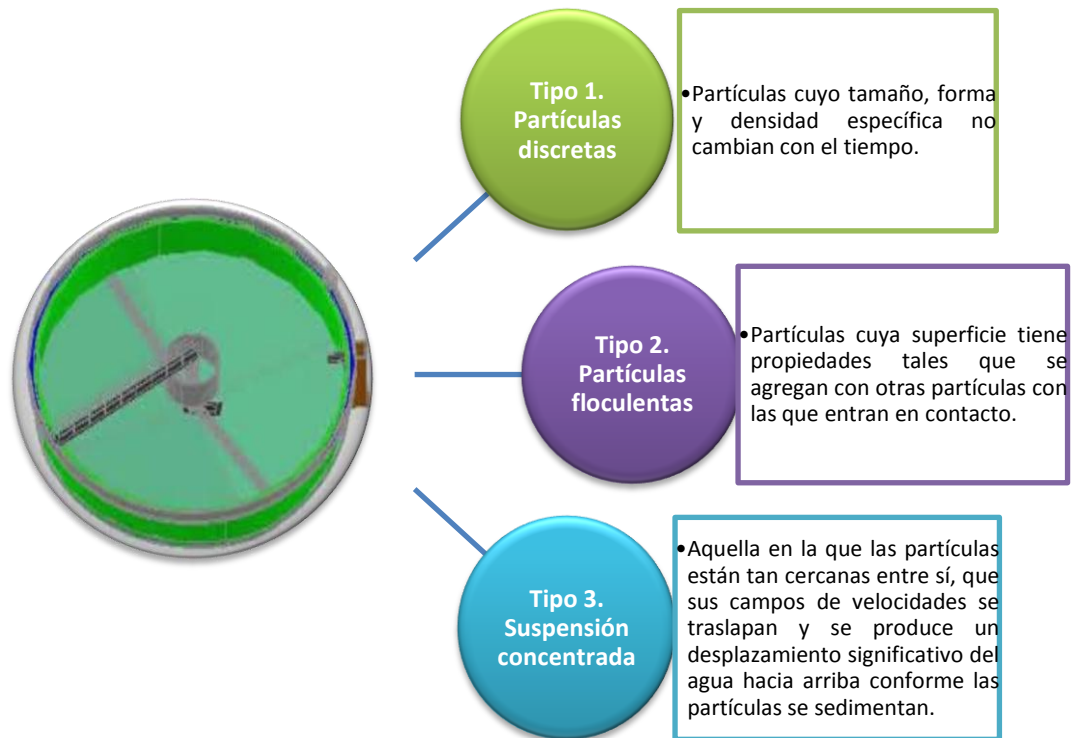


Ilustración 8. Tipos de sedimentación

## 2.2.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO.

El efluente del tratamiento primario todavía contiene 40 a 50 por ciento de los sólidos suspendidos que tenía el influente a la planta y virtualmente todos los compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos. Para cumplir con las normas oficiales mexicanas se requiere reducir significativamente tanto la fracción orgánica suspendida como la disuelta. La remoción de compuestos orgánicos se denomina tratamiento secundario y puede hacerse mediante procesos físico-químicos o procesos biológicos. En el primer caso se emplean combinaciones de operaciones y procesos unitarios tales como coagulación, microcribado, filtración, oxidación química, adsorción con carbono y otros

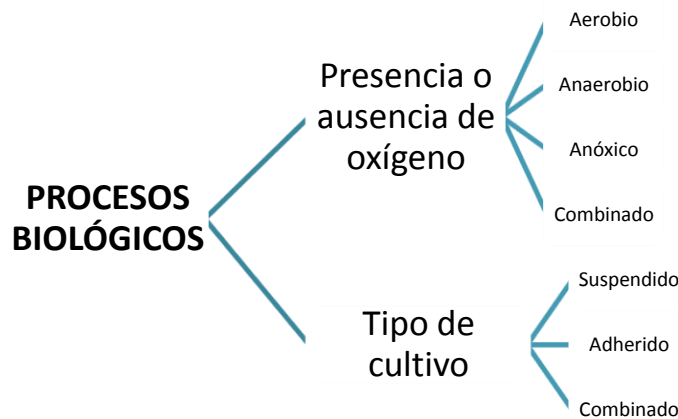


procesos para remover los sólidos y reducir la DBO a niveles aceptables. Actualmente la inversión inicial y los costos operativos de estas opciones son de gran magnitud, por esta razón no se usan comúnmente. En cambio, los procesos biológicos se usan prácticamente en todos los sistemas municipales de tratamiento secundario (Enrique César Valdez, Alba B. Vázquez González).

En el tratamiento biológico los microorganismos usan los compuestos orgánicos presentes en el agua residual como fuente de alimento y los convierten en células biológicas denominadas biomasa. Debido a que el agua contiene diversas sustancias orgánicas, para llevar a cabo el tratamiento se requieren diversos tipos de microorganismos, esto es, un cultivo mezclado. Cada tipo de microorganismo presente en el cultivo mezclado utiliza la fuente de alimento más adecuada a su metabolismo. La mayoría de los cultivos mezclados contienen además depredadores, es decir, microorganismos que devoran a los de otras especies. La biomasa creada se tiene que eliminar del agua residual para completar el proceso de tratamiento (Enrique César Valdez, Alba B. Vázquez González).

Los microorganismos que toman parte en el tratamiento de aguas residuales son esencialmente los mismos que aquéllos que degradan el material orgánico en los ecosistemas de agua dulce. Sin embargo, en las plantas de tratamiento no se llevan a cabo los procesos tal como se presentan en la naturaleza, sino que se controlan mediante reactores cuidadosamente diseñados para optimizar la rapidez y terminación de la remoción de compuestos orgánicos. (Enrique César Valdez, Alba B. Vázquez González).

Los procesos biológicos se pueden clasificar de diferentes maneras, en el siguiente cuadro sinóptico se muestran dos criterios de clasificación.



- 💧 **Proceso aerobio:** Proceso en el cual se requiere la presencia de oxígeno.
- 💧 **Proceso anaerobio:** Proceso en el cual no se requiere la presencia de oxígeno.
- 💧 **Proceso anóxico:** Proceso que requiere la presencia de oxígeno molecular, proveniente de otros compuestos.
- 💧 **Proceso combinado:** Realiza combinaciones con los dos primeros.
- 💧 **Proceso de cultivo suspendido:** En los cultivos suspendidos los microorganismos están suspendidos en el agua residual ya sea como células individuales o como “racimos” de células llamados flocúlos. Éstas son rodeadas por las aguas residuales que contienen su alimento y otros elementos esenciales.

Existen diferentes tipos de procesos de cultivo suspendido. **Ver Tabla 1.** Tipos de proceso de cultivo suspendido.

### LODOS ACTIVADOS

- Cuando se agita en presencia de oxígeno un agua residual previamente pasada por un sistema de tratamiento primario, se forma un flóculo de lodo en el que se desarrollan muchas bacterias y organismos vivos, con lo que dicho flóculo se vuelve activo, oxidando y absorbiendo materia orgánica.

### ESTANQUES Y LAGUNAS

- Los estanques de agua residual, consisten en embalses construidos de tierra, grandes y poco profundos, que retienen el agua residual el tiempo suficiente para que se lleve a cabo el proceso de purificación natural, proporcionando así el grado de tratamiento necesario.
- Estanques aerobios.
- Estanques anaerobios.
- Estanques facultativos.
- Laguna aerobia.
- Laguna facultativa.

Tabla 1. Tipos de proceso de cultivo suspendido.

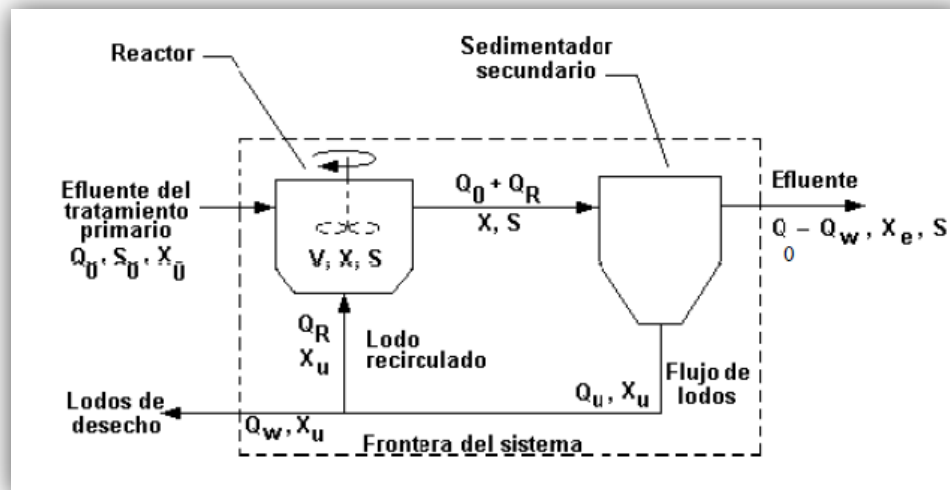


Ilustración 9. Sistema típico de lodos activados con reactor completamente mezclado.

- **Proceso de cultivo adherido:** En los sistemas de cultivo adherido el agua residual se pone en contacto con películas microbianas adheridas a superficies. El área superficial para el crecimiento de la biopelícula se incrementa colocando un medio poroso en el reactor.

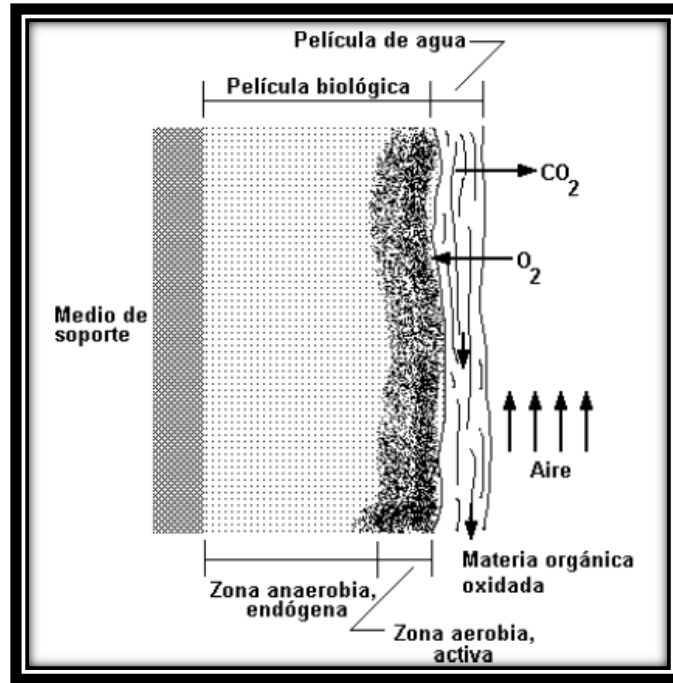


Ilustración 10. Biología del sistema de cultivo adherido

Existen diferentes tipos de procesos de cultivo adherido. *Ver Tabla 2*

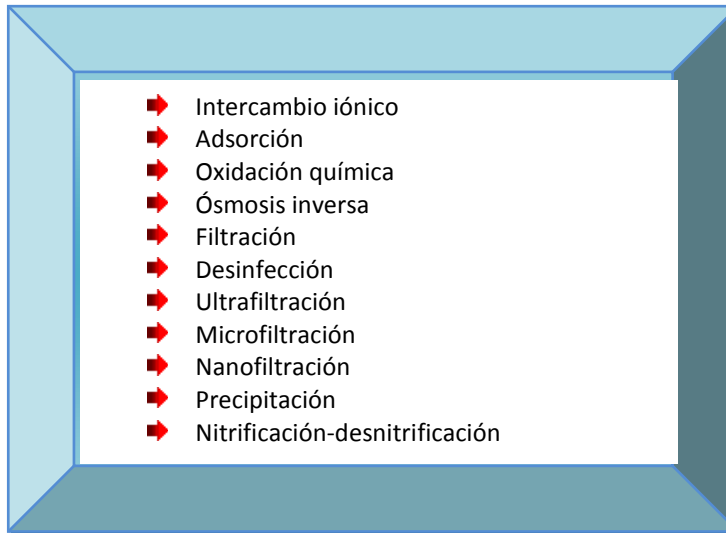
Filtros precoladores	Bio-torres	Discos biológicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medio de soporte: Roca triturada o plástico.</li> <li>• Para aplicar el agua residual sobre el medio de soporte se emplea un sistema de distribución rotatorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son prácticamente filtros percoladores profundos.</li> <li>• Medios de soporte: Modulares y ligeros, fabricados de PVC.</li> <li>• Alta tasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medio de soporte: discos grandes, planos, montados en una flecha y rotan en tanques, actualmente los biodiscos se fabrican de polietileno de alta densidad</li> <li>• Los discos se sumergen en el agua residual hasta aproximadamente el 40% de su diámetro</li> </ul>

Tabla 2. Tipos de proceso de cultivo adherido.

**💧 Sedimentación secundaria:** El objetivo de los sedimentadores secundarios es producir un efluente suficientemente clarificado para ajustarse a las NOM's de descarga y concentrar los sólidos biológicos para minimizar la cantidad de lodos que se habrán de manejar. Este tipo de sedimentadores se caracteriza por tener una sedimentación tipo 3.

### 2.2.3 TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO.

La finalidad de los tratamientos terciarios es eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios, como por ejemplo, fósforo y nitrógeno. Los procesos empleados son de naturaleza física, química o físico-química. El siguiente cuadro menciona algunos de los procesos empleados.



## 2.3 SISTEMA SBR.

El reactor secuencial por tandas (Sequencing Batch Reactor, SBR) es un sistema de lodos activados para tratamiento del agua residual que utiliza ciclos de llenado y descarga. En este sistema el agua residual entra en una tanda a un reactor único, recibe tratamiento para remover componentes indeseables y luego se descarga. La homogenización de caudales, la aireación y la sedimentación se logran en ese reactor único. Para optimizar el desempeño del sistema, se utilizan dos o más reactores en una secuencia de operación predeterminada. Los sistemas SBR han sido utilizados con éxito para tratar aguas residuales tanto municipales como industriales. Estos sistemas son especialmente efectivos para aplicaciones de tratamiento de agua residual caracterizadas por caudales reducidos o intermitentes.

Los procesos de llenado y descarga por tandas, similares a los de reactores SBR no son un desarrollo reciente como se cree comúnmente. Entre 1914 y 1920 varios sistemas de llenado y descarga se encontraban en operación. El interés en los SBR se revivió a finales de la década de 1950 e inicios de la década de 1960 con el desarrollo de nuevos equipos y tecnología. Las mejoras de los sistemas de aireación y de controles permitieron que los SBR compitieran con éxito con los sistemas convencionales de lodos activados.

Los sistemas SBR son utilizados típicamente para caudales iguales o menores a 5 millones de galones por día (mgd). La operación más sofisticada requerida para las plantas de SBR de mayor tamaño tiende a desestimular el uso de ese tipo de plantas para caudales mayores. Debido a que esos sistemas tienen una superficie

relativamente pequeña, son muy útiles en áreas en donde se tienen limitaciones de terreno. Además, los ciclos del sistema pueden ser fácilmente modificados para remoción de nutrientes si esto fuera requerido en el futuro. Esto hace que los sistemas SBR sean extremadamente flexibles para adaptarse a los cambios en las normas regulatorias de parámetros del efluente tales como la remoción de nutrientes. Los sistemas SBR son también muy efectivos en términos de costo de cuando se requieren tratamientos adicionales al biológico, tales como la filtración. (Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales, EPA 1999).

### 3.2.2. ETAPAS DEL SISTEMA.

El agua residual afluyente generalmente pasa a través de rejillas y desarenación antes de llegar al SBR. El agua residual entra luego a un reactor parcialmente lleno que contiene la biomasa ya aclimatada a los componentes del agua residual durante los ciclos anteriores. Una vez que el reactor se llena, este opera como un sistema convencional de lodos activados pero sin el flujo continuo de afluyente o descarga de efluente. La aireación y la mezcla se descontinúan después de completarse las reacciones biológicas, se sedimenta la biomasa y se remueve el sobrenadante. El exceso de biomasa se purga en cualquier punto del este ciclo. La purga frecuente hace que de un ciclo al siguiente se mantenga una relación de masas casi constante entre el sustrato afluyente y la biomasa. En los sistemas de flujo continuo, esa relación de masas debe mantenerse constante mediante un ajuste continuo de la tasa de recirculación del lodo activado en respuesta a variaciones del caudal afluyente, sus características y la concentración del lodo de purga del tanque de sedimentación. A continuación del reactor SBR, la tanda de agua residual puede fluir a un tanque de homogenización de caudales en donde el flujo de agua residual a otras unidades de proceso puede ser controlado a una tasa determinada. En algunos casos el agua residual es filtrada para remoción adicional de sólidos y luego desinfectada. **Ver Ilustración 11**

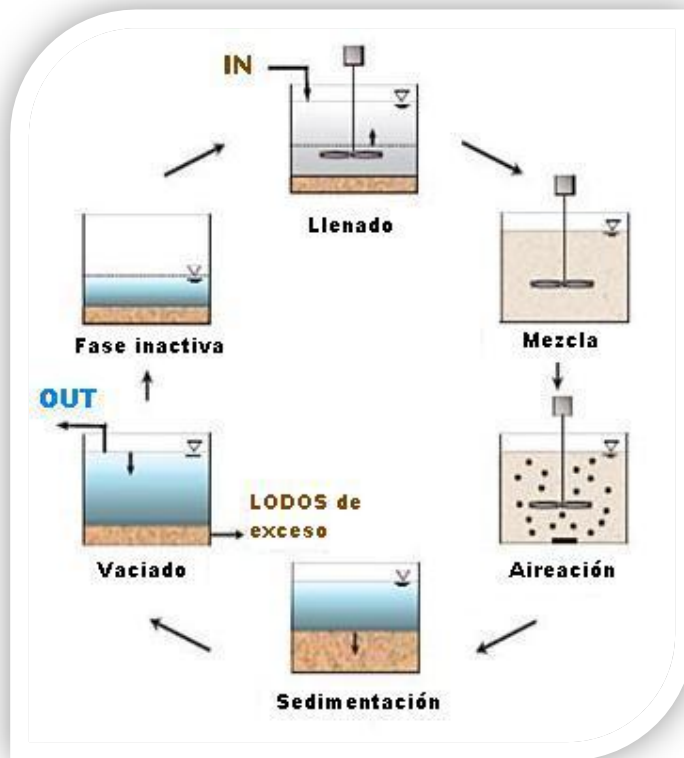


Ilustración 11. Etapas del sistema SBR



#### 4.2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

##### Ventajas:

- ✓ La homogenización de caudales, la sedimentación primaria (en la mayoría de los casos), el tratamiento biológico y la sedimentación secundaria pueden lograrse en un tanque reactor único.
- ✓ Flexibilidad de operación y control.
- ✓ Área superficial mínima.
- ✓ Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos.

##### Desventajas:

- ✗ Descarga potencial de lodos flotantes o sedimentados durante la fase de descarga o decantación del reactor en algunas configuraciones de SBR.
- ✗ Taponamiento potencial de los dispositivos de aireación durante ciclos operativos específicos dependiendo del sistema de aireación utilizado por el fabricante.
- ✗ Necesidad potencial de homogenización de caudales dependiendo de los procesos utilizados aguas abajo.



### 3 ANTECEDENTES DE LA PTAR DE LA FCPYS

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la zona de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, se construyó como respuesta a la necesidad de mitigar el impacto ambiental, causado por el vertido de las aguas residuales, generado por los edificios de la zona, en las grietas de la capa rocosa sin un adecuado tratamiento.

Esta planta fue diseñada en 1996 por el Instituto de Ingeniería, posteriormente se realizó una licitación para la construcción, puesta en marcha y operación inicial. El problema con la planta ha sido que desde la conclusión en 1998, no se ha logrado obtener un funcionamiento óptimo, debido principalmente a que la cantidad de agua recibida es muy inferior a la capacidad instalada (7.5 lps).

En respuesta a esta problemática, la Dirección General de Obras y Conservación, determinó necesario realizar un estudio de las descargas de aguas residuales de los edificios de la zona para determinar y ejecutar las actividades necesarias para contribuir a mejorar la operación de la planta de tratamiento. Sin embargo, una vez realizadas dichas actividades, el problema continuó, lo que provocó que la PTAR dejara de operar a principios del año 2010.

#### 3.1 ÁREAS CON APORTACIONES DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales llegan a través de colectores que fluyen desde las siguientes dependencias, cabe aclarar que el presente levantamiento no confirma que todas las descargas generadas en dichas dependencias alcancen la planta de tratamiento de aguas residuales de la FCPyS.

- Instituto de Antropología, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Tienda UNAM. *Ver Ilustración 12*

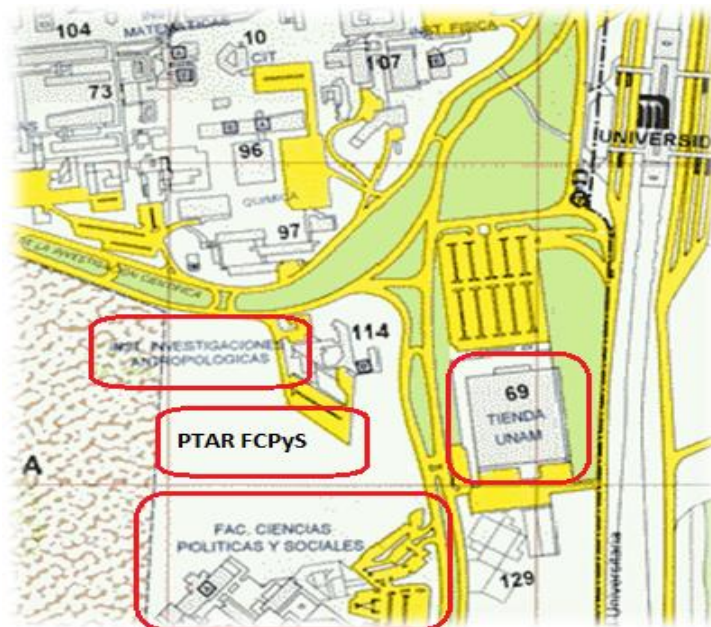


Ilustración 12. Ubicación del I. de Antropología, la FCPyS y Tienda UNAM.



Ilustración 13. Ubicación de zona de Institutos y Universum.

- Zona de Institutos de Investigación en Humanidades: Instituto de Investigaciones Filológicas, Instituto de Investigaciones Filosóficas, Instituto de Investigaciones Sociales, Instituto de Investigaciones Históricas, Instituto de Investigaciones Económicas, Instituto de Investigaciones Estéticas, Instituto de Investigaciones Jurídicas, Programa Universitario de Estudios de Género.

- Instituto de Investigaciones Bibliográficas.
- Universum. **Ver Ilustración 13**

### 3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El tren de tratamiento de agua está compuesto por los siguientes elementos:



**Cárcamo de recepción (3 colectores)**



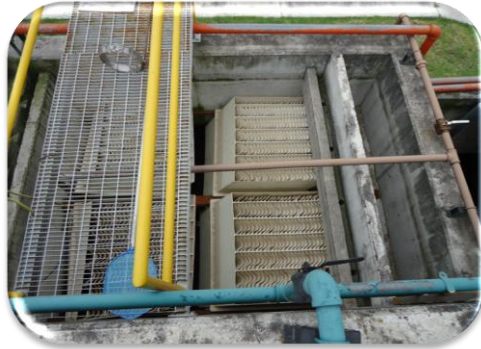
**Tanque de igualación de caudales**



**Reactor biológico 1**



**Reactor biológico 2**



***Sedimentador secundario  
con placas paralelas***



***Filtro de arena a presión  
seguido de cloración***



***Cisterna de agua tratada***

El proceso se lleva a cabo de la siguiente manera: El agua residual pasa a través de una rejilla de cribado grueso, la cual está colocada en el cárcamo de bombeo previo a la planta de tratamiento, de ahí es bombeada a una malla estática de acero inoxidable, de cribado fino para remover los sólidos suspendidos, los cuales son compuestos importantes en aguas de tipo municipal que deben ser removidas antes del tratamiento biológico.

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 un sistema de aireación para lograr un mezclado y prevenir condiciones sépticas. El agua residual igualada es bombeada al tratamiento biológico.

El sistema de tratamiento biológico utiliza reactores aerobios con película fija o biomasa fija inundada a través de biorreactores. Los sistemas con biorreactores están diseñados para el tratamiento de aguas residuales con sustancias orgánicas disueltas en ellas. Estos sistemas consisten en dos tanques verticales, totalmente inundados, llenos con empaques de polipropileno. Este empaque provee una alta área superficial comparada con el volumen de la biorreactor

(95% de espacios vacíos) para proveer un medio sobre el cual crezcan los microorganismos y sean retenidos sin la necesidad rutinaria de reciclar lodos del efluente.

El agua acondicionada es dirigida hacia las biorreactores en donde se inyecta continuamente aire por la parte inferior. En estas torres se remueve la carga orgánica del agua residual, y en la segunda ocurrirá la nitrificación.

El agua residual proveniente de las biorreactores conteniendo biomasa acarreada de ésta, fluye por gravedad al separador de sólidos 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 sedimentan en el fondo del separador. De ahí, los sólidos son transferidos con una bomba operada por un timer a la primer biorreactor y al tanque de estabilización.

El agua clarificada proveniente del separador de sólidos es conducida a un cárcamo de bombeo y posteriormente a un filtro de grava y arena, después de la filtración a presión, el agua pasa a la cisterna de almacenamiento; previo a esta cisterna y en línea, se añade una solución de hipoclorito de sodio a través de una bomba de dosificación, controlada a través de un medidor de nivel en el tanque de igualación, de manera que cuando no existe flujo, no se dosifica el hipoclorito.

La cisterna de almacenamiento cuenta con dos bombas para la reutilización del agua ya tratada.

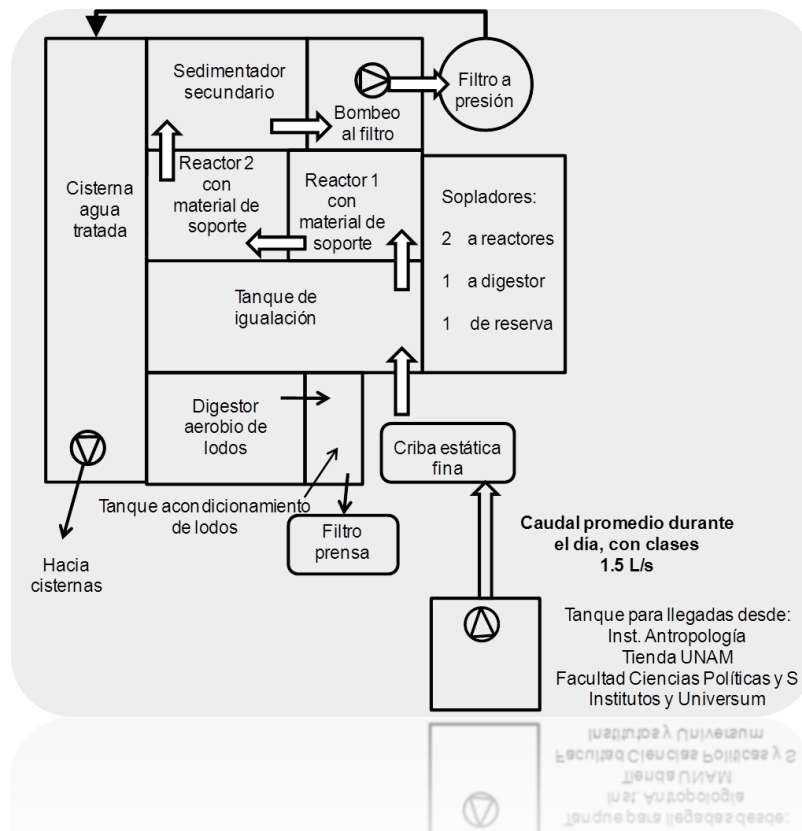
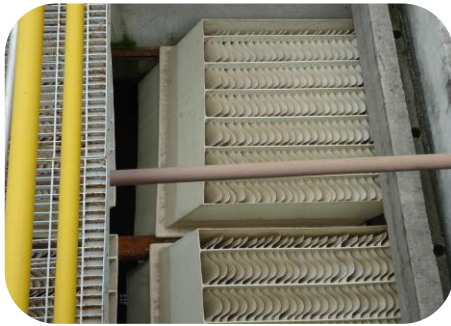


Ilustración 14. Esquema del diagrama de flujo de los procesos de agua y lodos en la PTAR.

Los planos del tratamiento de agua se presentan en el Anexo 1

El diagrama de procesos del tratamiento de lodos está compuesto por los siguientes elementos



***Producción de lodos en sedimentador secundario***



***Digestor aerobio de lodos***



***Acondicionamiento de lodos***



***Filtro prensa***

El lodo que se ha sedimentado en el separador de sólidos es descargado al compartimiento de estabilización de lodos. Este compartimiento está aireado para acelerar la digestión y eliminar la posibilidad de olores. Posteriormente, el lodo se bombea a un tanque batch acondicionador, a fin de mejorar la eficiencia en la remoción de agua de los lodos. Una vez que el lodo está acondicionado adecuadamente, es bombeado a un filtro prensa para la remoción del agua. La descarga de la torta del filtro prensa es manual al final del ciclo. El filtrado se dirige al tanque de igualación para su tratamiento.

Los planos del tratamiento de lodos se presentan en el Anexo 1.



## 4 DIAGNÓSTICO DE LA PTAR DE LA FCPYS

### 4.1. CAUDALES Y CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES

Uno de los aspectos esenciales en cualquier PTAR es conocer la calidad y la cantidad de las aguas a tratar, con el fin de diseñar y/o mejorar los procesos, equipos y espacios a la medida de las necesidades.

Los caudales a tratar en la PTAR de la FCPyS cuentan con las siguientes características:

- DBO<sub>5-20</sub> = 350 [mg/l]<sup>1</sup>
- DQO = 746 [mg/l]<sup>1</sup>
- SST = 356 [mg/l]<sup>1</sup>
- SSF = 67 [mg/l]<sup>1</sup>
- SSV = 288 [mg/l]<sup>1</sup>
- pH = 8.8<sup>1</sup>
- Turbiedad = 530 [UTN]<sup>1</sup>
- Grasas y Aceites (GyA) = 93 [mg/l]<sup>1</sup>
- Conductividad Eléctrica (CE) = 1 898 [μs/cm]

Para entender el rango de contaminación de las aguas residuales del influente de la PTAR, los parámetros enlistados anteriormente, enseguida se comparan con una caracterización típica de agua residual doméstica:

Como se muestra en la Tabla 3, la cantidad de contaminantes con los que cuenta la PTAR de la FCPyS se resaltan en cuadros rojos; observando los valores, se puede notar que la DBO<sub>5-20</sub> se encuentra en una concentración de alto grado de contaminación; los SST, SSV y DQO se encuentran muy cercanos a una concentración de alto grado de contaminación; los SSF se encuentran exactamente a la mitad de una concentración de media y alto grado de contaminación, mientras que las GyA se encuentran apenas por arriba de una concentración de contaminación media. En lo que se refiere al pH se puede notar que su valor se encuentra dentro del rango recomendable (6 a 9) para la mayor existencia de vida biológica.

<sup>1</sup> Registros proporcionados por la Dirección General de Obras y Conservación.

Tabla 3. Composición típica de agua residual doméstica

Contaminants	Unit	Concentration <sup>a</sup>		
		Low strength	Medium strength	High strength
Solids, total (TS)	mg/L	390	720	1230
Dissolved, total (TDS)	mg/L	270	500	860
Fixed	mg/L	160	300	520
Volatile	mg/L	110	200	340
Suspended solids, total (TSS)	mg/L	120	210	355.8
Fixed	mg/L	25	50	66.7
Volatile	mg/L	95	160	288.4
Settleable solids	mL/L	5	10	20
Biochemical oxygen demand, 5-d, 20°C (BOD <sub>5</sub> , 20°C)	mg/L	110	190	350.1
Total organic carbon (TOC)	mg/L	80	140	260
Chemical oxygen demand (COD)	mg/L	250	430	745.5
Nitrogen (total as N)	mg/L	20	40	70
Organic	mg/L	8	15	25
Free ammonia	mg/L	12	25	45
Nitrites	mg/L	0	0	0
Nitrates	mg/L	0	0	0
Phosphorus (total as P)	mg/L	4	7	12
Organic	mg/L	1	2	4
Inorganic	mg/L	3	5	10
Chlorides <sup>b</sup>	mg/L	30	50	90
Sulfate <sup>b</sup>	mg/L	20	30	50
Oil and grease	mg/L	50	90	92.7
Volatile organic compounds (VOCs)	mg/L	<100	100-400	>400
Total coliform	No./100 mL	10 <sup>6</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>10</sup>
Fecal coliform	No./100 mL	10 <sup>2</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>8</sup>
Cryptosporidium oocysts	No./100 mL	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>1</sup>	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>2</sup>
Giardia lamblia cysts	No./100 mL	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>1</sup>	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>2</sup>	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>3</sup>

<sup>a</sup>Low strength is based on an approximate wastewater flowrate of 750 L/capita-d (200 gal/capita-d).  
 Medium strength is based on an approximate wastewater flowrate of 460 L/capita-d (120 gal/capita-d).  
 High strength is based on an approximate wastewater flowrate of 240 L/capita-d (60 gal/capita-d).  
<sup>b</sup>Values should be increased by amount of constituent present in domestic water supply.  
 Note: mg/L = g/m<sup>3</sup>.

Otro aspecto importante, además de la calidad, es la cantidad, dicha característica se observa en las gráficas siguientes; donde se puede observar que se cuenta con registros desde el día 31 de mayo de 2010 al 18 de enero de 2011, el gasto promedio es de 1.11 [lps]. Según datos del personal operativo de la planta el caudal medio en días de operación normal (considerando periodo escolar y un día normal de actividades), asciende a 1.5 [lps], mientras que cuando hay vacaciones escolares, el gasto promedio es de 0.75 [lps].

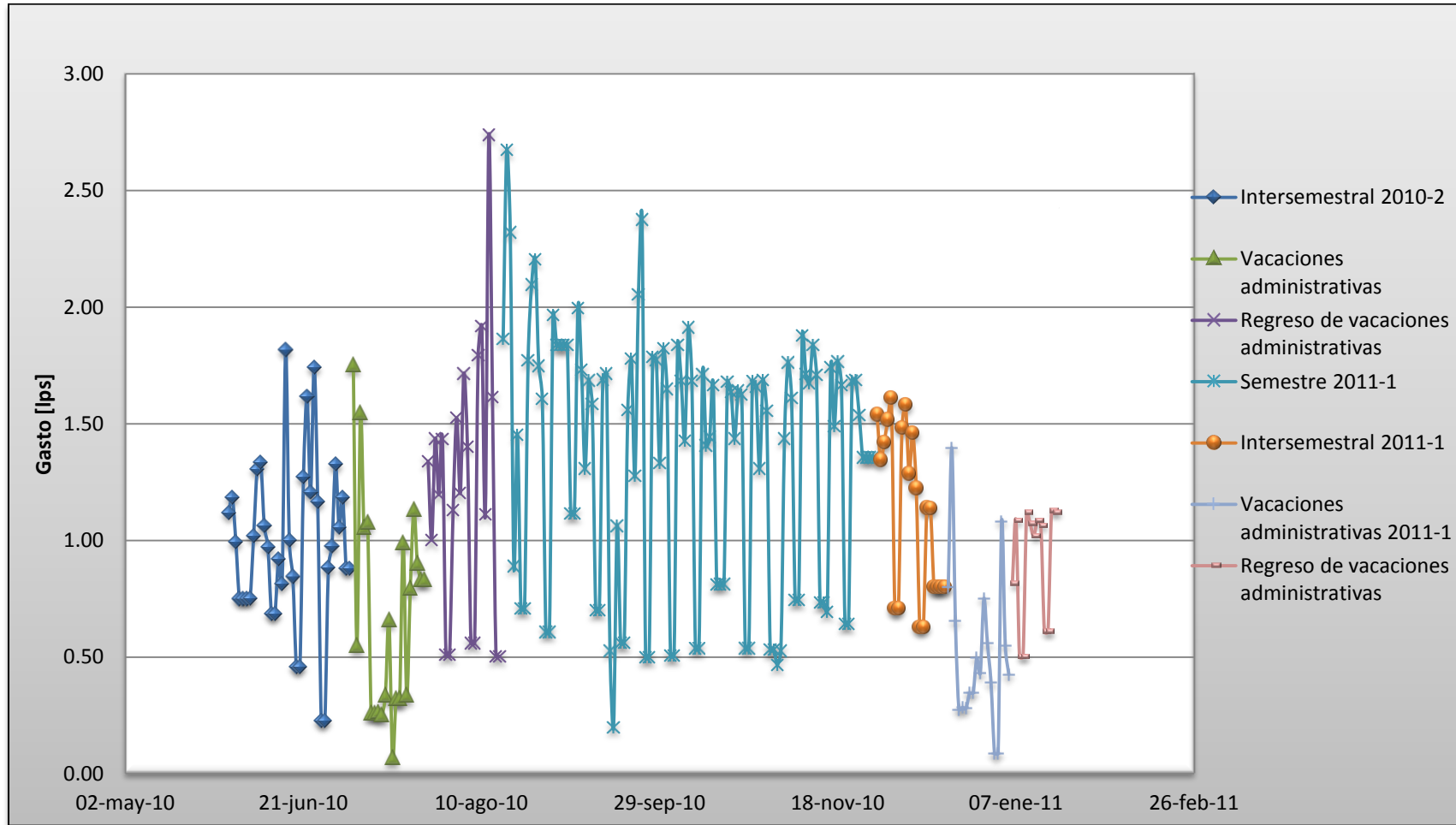


Ilustración 15. Gastos de entrada registrados en la PTAR de la FCPyS



## 4.2. DIAGNÓSTICO DE LAS INSTALACIONES

De acuerdo a la visita realizada, el lunes 20 de febrero de 2012, a la PTAR de la FCPyS, sus instalaciones se encuentran en las siguientes condiciones.

### 4.2.1. LÍNEAS DE CONDUCCIÓN

- En estado inservible, la tubería que se encuentra conectada a la bomba sumergible del tanque de estabilización de lodos y que alimenta al tanque de acondicionamiento de lodos.
- Corroídas, las tuberías que se encuentran conectadas a las bombas sumergibles del tanque de igualación y que alimentan al reactor biológico 1.
- Corroídas, las tuberías que se encuentran en el tanque de igualación, provenientes de la conexión con los sopladores.
- Corroídas, las tuberías que se encuentran en los reactores biológicos 1 y 2, provenientes de la conexión con los sopladores.
- En estado inservible, las mangueras que se encuentran conectadas a las bombas sumergibles del cárcamo de bombeo.

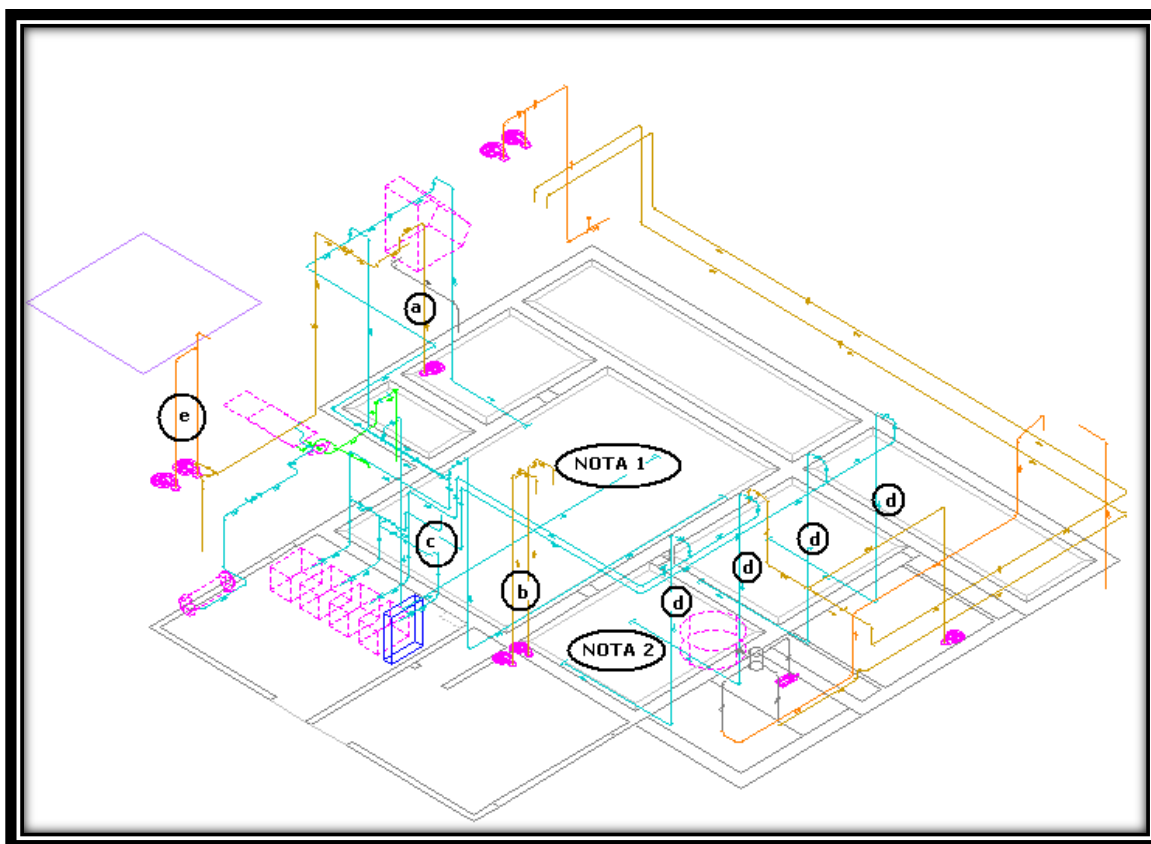


Ilustración 16. Isométrico de la PTAR de la FCPyS con líneas de conducción

**NOTA1:** En el tanque de igualación existen tuberías sumergidas las cuales no son visibles, existe la posibilidad que también se encuentren corroídas.

**NOTA 2:** En ambos reactores biológicos existen tuberías sumergidas las cuales no son visibles, existe la posibilidad que también se encuentren corroídas.

#### 4.2.2. EQUIPO ELECTROMECAÁNICO

- f. Soplador para reactor biológico 1 (S1201), soplador para reactor biológico 2 (S1202), soplador extra (S1101) y soplador para tanque de igualación (S1101), ubicados en el cuarto de máquinas. El soplador S 1202 está descompuesto, la instalación de los cuatro sopladores se realizó en el año 2009.
- g. Bombas sumergibles ubicadas en el tanque de igualación para transferencia a reactor biológico 1, B1003 y B1004, se encuentran descompuestas debido a una falla generada en el tablero de control.
- h. Bomba de transferencia de lodos digeridos (B1506) hacia acondicionamiento, en buen estado.
- i. Compresor de aire para filtro prensa (S1707), ubicado en el cuarto de máquinas, tiene fuga de aceite en cabezales.
- j. Bomba para transferencia de lodos secundarios (B1405) hacia digestión, ubicada en la separación de sólidos, se encuentra en buen estado.
- k. Bomba de abastecimiento de agua clarificada al filtro de grava y arena (B1911), en buen estado.
- l. Bomba de cárcamo B0901 y la bomba de cárcamo extra B0902, se renovaron en el año 2005, ambas bombas están descompuestas.
- m. Bomba de cárcamo de salida B2012 y bomba de cárcamo de salida extra B2013, son nuevas (montadas en 2011), sin instalación eléctrica.

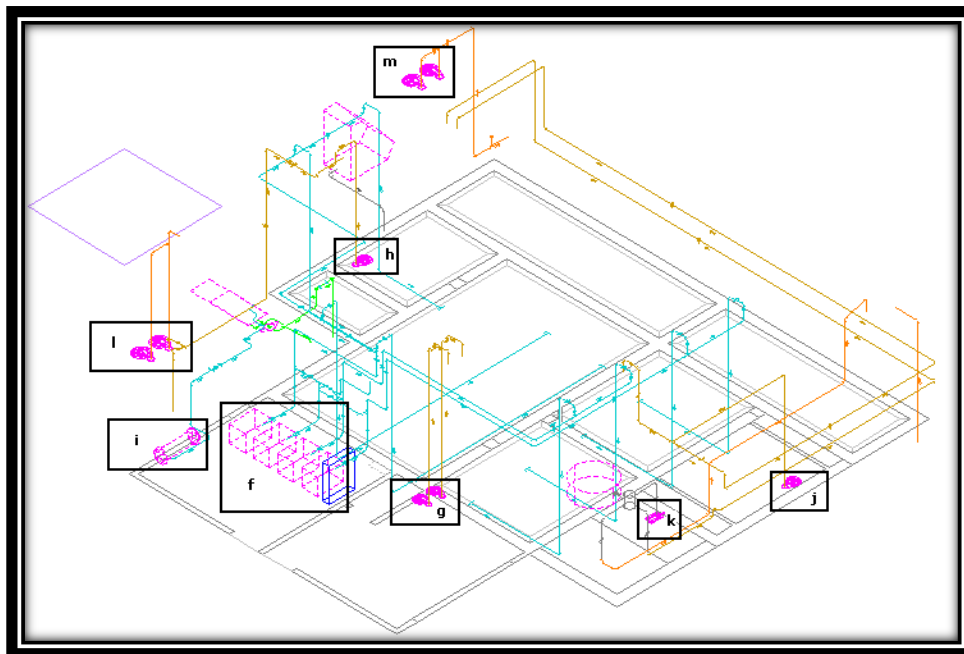


Ilustración 17. Isométrico de la PTAR de la FCPyS con equipos electromecánicos.



En la siguiente tabla se muestra que del total de equipos, una parte no está en condiciones de operar y el resto funcionaba cuando dejó de operar la planta en 2010.

Tabla 4. Resumen del diagnóstico de la PTAR

PROCESO	VOLUMEN	EQUIPO	CLAVE	ESTADO	OBSERVACIÓN
CÁRCAMO DE RECEPCIÓN DE AGUAS RESIDUALES	8.6 m <sup>3</sup>	Bombas sumergibles para transferencia a tanque de igualación a través de criba estática	B0901	descompuesta	falla generada en el tablero de control
			B0902	descompuesta	falla generada en el tablero de control
CRIBADO	No aplica	Criba estática		funcionaba	no requiere equipo electromecánico
TANQUE DE IGUALACIÓN	138.6 m <sup>3</sup>	Bombas sumergibles para transferencia a reactor biológico 1	B1003	descompuesta	
			B1004	descompuesta	
		soplador para tanque de igualación	S1101	funcionaba	Instalado en 2009
REACTOR AEROBIO 1	45.2 m <sup>3</sup>	Soplador para reactor biológico 1	S1201	funcionaba	Instalado en 2009
REACTOR AEROBIO 2	45.2 m <sup>3</sup>	Soplador para reactor biológico 2	S1202	descompuesto	Instalado en 2009
	No aplica	Soplador de repuesto	S1101	funcionaba	Instalado en 2009
SEDIMENTADOR SECUNDARIO	No aplica	Bomba para transferencia de lodos secundarios hacia digestión	B1405	funcionaba	ubicada en la separación de sólidos
		Bomba de abastecimiento de agua clarificada al filtro de grava y arena	B1911	funcionaba	



<b>FLITRACIÓN</b>	No aplica	Sistema de filtro a presión		funcionaba	control manual para retrolavado
<b>CLORACIÓN</b>	No aplica	Dosificador		funcionaba	
<b>CISTERNA AGUA TRATADA</b>	106.9 m <sup>3</sup>	Bomba de cisterna de agua tratada	B2012	sin estrenar	son nuevas (montadas en 2011), sin instalación eléctrica
		bomba extra	B2013	sin estrenar	
<b>DIGESTOR AEROBIO DE LODOS</b>	27.7 m <sup>3</sup>	Bomba de transferencia de lodos digeridos hacia acondicionamiento	B1506	funcionaba	
<b>ACONDICIONAMIENTO DE LODOS</b>	11.9 m <sup>3</sup>	Dosificador de sustancias químicas		descompuesto	
<b>FILTRO PRENSA DE LODOS</b>	No aplica	Compresor de aire para filtro prensa	S1707	funcionaba	tiene fuga de aceite en cabezales
		Filtro prensa		descompuesto	



## 5. PROPUESTA TÉCNICA

### 5.1. TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El tratamiento biológico propuesto es a base de un sistema de reactores discontinuos (SBR), para lo cual es necesario realizar la siguiente memoria de cálculo:

#### Datos de diseño

- $Q = 1.5 \left[ \frac{l}{s} \right]$
- $DBO_{5-20} = 350 \left[ \frac{mg}{l} \right]$
- $DQO = 746 \left[ \frac{mg}{l} \right]$
- $SST = 356 \left[ \frac{mg}{l} \right]$
- $SSV = 288 \left[ \frac{mg}{l} \right]$
- $NTK = 65 \left[ \frac{mg}{l} \right]$
- $IVL = 120 \left[ \frac{ml}{g} \right]$
- $DQO_{biodegradable} / DBO = 1.6$
  
- $T = 18 [^{\circ}C]$
- $NO_x = 80\% \text{ de } NTK$
- $SSLM = 3,000 \left[ \frac{mg}{l} \right]$
- *Profundidad total del líquido a tanque lleno = 4[m]*
- *Profundidad de decantación = 30% de la profundidad del líquido a tanque lleno*
- *Se usarán 2 tanques (debido a la infraestructura existente)*

#### 1) Selección de los tiempos de operación del sistema.

El tiempo total del ciclo ( $T_C$ ) consiste en llenado ( $t_F$ ), reacción/aereación ( $t_A$ ), sedimentación ( $t_S$ ) y decantación ( $t_D$ ). Un tiempo de inactividad ( $t_I$ ) también puede ser añadido.

Así, el tiempo total del ciclo equivale a lo siguiente:

$$T_C = t_F + t_A + t_S + t_D + t_I$$

Por lo menos se necesitan 2 tanques para que cuando un tanque se encuentre en el periodo de llenado ( $t_F$ ), los siguientes procesos estén ocurriendo en el otro tanque, característica que se cumple. Por lo que:

$$t_F = t_A + t_S + t_D + t_I$$



Selección de tiempo para cada periodo.

$$t_A = 40 \text{ minutos}$$

$$t_S = 60 \text{ minutos}$$

$$t_D = 60 \text{ minutos}$$

$$t_I = 0$$

Entonces:

$$t_F = 40 + 60 + 60 + 0 = 160 \frac{\text{minutos}}{\text{tanque}}$$

$$T_C = 160 + 160 = 340 \frac{\text{minutos}}{\text{tanque}}$$

$$\text{Ciclos} = \frac{24}{\left(\frac{340}{60}\right)} = 4.5 \left[ \frac{\text{ciclos}}{\text{día} * \text{tanque}} \right]$$

$$\text{Ciclos} = 4.5 \left[ \frac{\text{ciclos}}{\text{día} * \text{tanque}} \right] * 2[\text{tanques}] = 9 \left[ \frac{\text{ciclos}}{\text{día}} \right]$$

$$\text{Volumen de llenado} = \frac{(1.5 \text{ lps}) * \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{l}}\right) * \left(\frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}}\right)}{\left(9 \frac{\text{ciclos}}{\text{día}}\right)} = 14.4 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{ciclo}} \right]$$

## 2) Determinando la fracción de llenado por ciclo ( $V_F/V_T$ ) y comparando con un valor propuesto de 0.35

a) Desarrollo de un balance de masa basado en los sólidos del reactor

*Masa de sólidos del volumen de llenado = Masa de sólidos sedimentables*

$$V_T X_T = V_S X_S$$

$$\frac{V_S}{V_T} = \frac{X_T}{X_S}$$

Donde:

$$V_T = \text{Volumen total, m}^3$$

$$X_T = \text{SSLM del volumen total, } \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$V_S = \text{Volumen sedimentado, m}^3$$

$$X_S = \text{SSLM de la concentración de volumen sedimentado, } \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$



b) Resolviendo el balance de masa y determinando la fracción de llenado por ciclo

i. Estimamos  $X_S$  a través del Índice Volumétrico de Lodos (IVL),

$$X_S = \frac{\left(10^3 \frac{ml}{l}\right) \left(10^3 \frac{mg}{g}\right)}{120 \frac{ml}{g}} = \frac{\left(10^3 \frac{ml}{l}\right) \left(10^3 \frac{mg}{g}\right)}{120 \frac{ml}{g}}$$

$$X_S = 8,333.3 \left[\frac{mg}{l}\right]$$

$$X_T = 3,000 \left[\frac{mg}{l}\right] \text{ (dato)}$$

ii. Determinamos la fracción sedimentada

$$\frac{V_S}{V_T} = \frac{3,000}{8,333.3} \Rightarrow \frac{V_S}{V_T} = 0.36$$

Este valor implica que se necesita un 36% del volumen total del tanque, para el proceso de sedimentación, sin embargo, se aumentará un 20% de volumen a fin de que los sólidos no sean removidos por el mecanismo de decantación.

$$\frac{V_S}{V_T} = 1.2(0.36) \Rightarrow \frac{V_S}{V_T} = 0.43$$

iii. Determinamos la fracción de llenado

$$\begin{aligned} \frac{V_S}{V_T} + \frac{V_F}{V_T} &= 1 \\ \Rightarrow \frac{V_F}{V_T} &= 1 - \frac{V_S}{V_T} \end{aligned}$$

Sustituyendo:

$$\frac{V_F}{V_T} = 1 - 0.43 \Rightarrow \frac{V_F}{V_T} = 0.57$$

Con el resultado anterior, se puede concluir que el valor de 0.35 para la relación  $V_F/V_T$  es aceptable ya que los cálculos demuestran que se puede llegar hasta un límite superior de 0.57.

### 3) Determinando el tiempo de retención hidráulica ( $\tau$ )

$$\text{Profundidad de decantación} = 0.3 * (4) = 1.2 \text{ [m]}$$

$$\frac{V_F}{V_T} = 0.35 \Rightarrow V_T = \frac{V_F}{0.35}$$



$$V_T = \frac{14.4}{0.35} = 41 \left[ \frac{m^3}{tanque} \right]$$

$$\tau = \frac{V_T}{Q} = \frac{41.1 \left[ \frac{m^3}{tanque} \right] * (2 \text{ tanques})}{1.5 \left[ \frac{l}{s} \right] * \left( \frac{1m^3}{1000l} \right) * \left( \frac{3600s}{1h} \right)} = 15[h]$$

#### 4) Obteniendo el tiempo de retención celular (SRT)

$$(P_{X,SS})SRT = \frac{QY(S_o - S)SRT}{[1 + (k_d)SRT](0.85)} + Q(SSV_{nb})SRT + \frac{QY_n(NO_x)SRT}{[1 + (k_{dn})SRT](0.85)} + \frac{(f_d)(k_d)Q(Y)(S_o - S)SRT^2}{[1 + (k_d)SRT](0.85)} + Q(SST_o - SSV_o)SRT$$

$$(P_{X,SS})SRT = V(X_{SSLM}) = 41.1 [m^3] * 3,000 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

$$(P_{X,SS})SRT = 123,428.57[g] = 123.4[kg]$$

a) Datos de entrada para resolver la ecuación

$$Y = 0.4 \left[ \frac{g \text{ SSV}}{g \text{ DQO}_b} \right]$$

$$(S_o - S) \approx S_o \Rightarrow S_o = DQO_b = 1.6(DBO)$$

$$S_o = 1.6 * 350 \left[ \frac{mg}{l} \right] = 560 \left[ \frac{mg}{l} \right]$$

$$k_{d(18^\circ C)} = 0.12 * (1.04)^{(18-20)} = 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right]$$

$$SSV_{nb} = \left( 1 - \frac{DQO_{bp}}{DQO_p} \right) * DBO = \left( 1 - \frac{(DQO_b - DBO) * (DBO - DBO_s)}{DQO - DQO_s} \right) * DBO$$

$$SSV_{nb} = \left( 1 - \frac{(1.6) * (350 - 175)}{746 - 373} \right) * 350 = 87.3 \left[ \frac{mg}{l} \right]$$

$$Y_n = 0.12 \left[ \frac{g \text{ SSV}}{g \text{ NO}_x} \right]$$

$$NO_x = 80\%(NTK) = 0.8 * \left( 65 \frac{mg}{l} \right) = 52 \left[ \frac{mg}{l} \right]$$

$$k_{dn(18^\circ C)} = 0.08 * (1.04)^{(18-20)} = 0.074 \left[ \frac{g}{g * d} \right]$$

$$f_d = 0.15$$





$$Q = \left( \frac{1.5 \left[ \frac{L}{s} \right] * \left( \frac{1m^3}{1000l} \right) * \left( \frac{86400 s}{1 d} \right)}{2 \text{ tanques}} \right) = 64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right]$$

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} (P_{X,SST})SRT &= \frac{64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 0.4 \left[ \frac{g SSV}{g DQO_b} \right] \right) \left( 560 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) SRT}{\left[ 1 + \left( 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) SRT \right] (0.85)} + 64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 87.3 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) SRT \\ &+ \frac{64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 0.12 \left[ \frac{g SSV}{g NO_x} \right] \right) \left( 52 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) SRT}{\left[ 1 + \left( 0.074 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) SRT \right] (0.85)} \\ &+ \frac{(0.15) \left( 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) 64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 0.4 \left[ \frac{g SSV}{g DQO_b} \right] \right) \left( 560 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) SRT^2}{\left[ 1 + \left( 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) SRT \right] (0.85)} \\ &+ 64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 356 \left[ \frac{g}{m^3} \right] - 288 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) SRT \end{aligned}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene un **SRT = 5.6[días]**

## 5) Obteniendo la concentración de SSVLM

a) Resolviendo la ecuación para un SRT = 5.6[días]

$$(P_{X,SST})SRT = \frac{QY(S_o - S)SRT}{[1 + (k_d)SRT]} + Q(SSV_{nb})SRT + \frac{QY_n(NO_x)SRT}{[1 + (k_{dn})SRT]} + \frac{(f_d)(k_d)Q(Y)(S_o - S)SRT^2}{[1 + (k_d)SRT]}$$

$$(P_{X,SST})SRT = V_T(X_{SSVLM})$$

Sustituyendo valores:

$$\begin{aligned} (P_{X,SST})SRT &= \frac{64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 0.4 \left[ \frac{g SSV}{g DQO_b} \right] \right) \left( 560 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) (5.6[\text{días}])}{\left[ 1 + \left( 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) (5.6[\text{días}]) \right] (0.85)} + 64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 87.3 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) (5.6[\text{días}]) \\ &+ \frac{64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 0.12 \left[ \frac{g SSV}{g NO_x} \right] \right) \left( 52 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) (5.6[\text{días}])}{\left[ 1 + \left( 0.074 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) (5.6[\text{días}]) \right] (0.85)} \\ &+ \frac{(0.15) \left( 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) 64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 0.4 \left[ \frac{g SSV}{g DQO_b} \right] \right) \left( 560 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) (5.6[\text{días}])^2}{\left[ 1 + \left( 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) (5.6[\text{días}]) \right] (0.85)} \\ &+ 64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 356 \left[ \frac{g}{m^3} \right] - 288 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) (5.6[\text{días}]) \end{aligned}$$

$$(P_{X,SST})SRT = 88,011 \left[ \frac{m^3 * g}{m^3} \right]$$



$$\Rightarrow (P_{X, SST})SRT = V_T(X_{SSVLM}) = 88,011 \left[ \frac{m^3 * g}{m^3} \right]$$

$$(X_{SSVLM}) = \frac{88,011 \left[ \frac{m^3 * g}{m^3} \right]}{V_T} = \frac{88,011 \left[ \frac{m^3 * g}{m^3} \right]}{41[m^3]}$$

$$(X_{SSVLM}) = 2,139 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

b) Determinando la fracción de SSVLM:

$$\frac{(X_{SSVLM})}{(X_{SSLM})} = \frac{2,139 \left[ \frac{g}{m^3} \right]}{3,000 \left[ \frac{g}{m^3} \right]} = 0.71$$

6) Obteniendo la cantidad de  $NH_4-N$  oxidado ( $NO_x$ ):

$$NO_x = TKN_0 - N_e - \frac{0.12 P_{X,bio}}{Q}$$

$$(P_{X,bio}) = \frac{QY(S_0 - S)}{[1 + (k_d)SRT]} + \frac{QY_n(NO_x)}{[1 + (k_{dn})SRT]} + \frac{(f_d)(k_d)Q(Y)(S_0 - S)SRT}{[1 + (k_d)SRT]}$$

Sustituyendo:

$$(P_{X,bio}) = \frac{64.8 \left[ \frac{m^3}{día * tanque} \right] \left( 0.4 \left[ \frac{g SSV}{g DQO_b} \right] \right) \left( 560 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right)}{\left[ 1 + \left( 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) (5.6[días]) \right]} + \frac{64.8 \left[ \frac{m^3}{día * tanque} \right] \left( 0.12 \left[ \frac{g SSV}{g NO_x} \right] \right) \left( 52 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right)}{\left[ 1 + \left( 0.074 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) (5.6[días]) \right]}$$

$$+ \frac{(0.15) \left( 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) 64.8 \left[ \frac{m^3}{día * tanque} \right] \left( 0.4 \left[ \frac{g SSV}{g DQO_b} \right] \right) \left( 560 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) (5.6[días])}{\left[ 1 + \left( 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) (5.6[días]) \right]}$$

$$(P_{X,bio}) = 10,073 \left[ \frac{g}{día} \right] = 10 \left[ \frac{kg}{día} \right]$$

$$NO_x = 60 \left[ \frac{g}{m^3} \right] - 0.5 \left[ \frac{g}{m^3} \right] - \frac{0.12 \left( 10,073 \left[ \frac{g}{día} \right] \right)}{64.8 \left[ \frac{m^3}{día * tanque} \right]}$$

$$NO_x = 41 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

7) Comprobando el grado de nitrificación que demuestre que el  $NH_4-N$  será removido a un nivel de  $0.5 g/m^3$  en un periodo de aireación de 40 minutos.



a) Calculando la cantidad de N oxidable, disponible

$$NO_x = 41 \left[ \frac{g}{m^3} \right] = NH_4-N \text{ que puede ser oxidado, en el flujo de alimentación}$$

$NH_4-N$  oxidable en cada ciclo:

$$V_F(NO_x) = (14.4[m^3]) \left( 41 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) = 588 \left[ \frac{g}{llenado} \right]$$

$NH_4-N$  restante, antes de llenar =  $V_S(N_e)$

$$V_S(N_e) = N_e(V - V_F)$$

$$N_e(V - V_F) = 0.5 \left[ \frac{g}{m^3} \right] (41[m^3] - 14.4[m^3]) = 13[g]$$

$$N \text{ total oxidable al inicio de cada ciclo} = 588 + 13 = 601[g]$$

$$\text{Concentración inicial } N_o = \frac{601[g]}{V_T} = \frac{601[g]}{41[m^3]} = 15 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

b) Determinando el tiempo de reacción

El tiempo de reacción después del llenado, para conseguir la concentración deseada de  $NH_4-N$ , se puede calcular de la siguiente manera

$$K_n \ln \frac{N_o}{N_t} + (N_o - N_t) = X_n \left( \frac{\mu_{mn}}{Y_n} \right) \left( \frac{DO}{K_o + DO} \right) t$$

i) Calculando la concentración de nitrificación

$$X_n = \frac{Q(Y_n)(NO_x)SRT}{[1 + (k_d)SRT]V}$$

Sustituyendo:

$$X_n = \frac{64.8 \left[ \frac{m^3}{día * tanque} \right] \left( 0.12 \left[ \frac{g SSV}{g NO_x} \right] \right) \left( 52 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) (5.6[días])}{\left[ 1 + \left( 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) (5.6[días]) \right] 41[m^3]}$$

$$X_n = 34 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

ii) Calculando el tiempo de reacción

$$\mu_{m(18^\circ C)} = 0.75 \left[ \frac{g}{g * d} \right] * (1.07)^{(18-20)} = 0.66 \left[ \frac{g}{g * d} \right]$$

$$K_n(18^\circ C) = 0.74 \left[ \frac{g}{m^3} \right] * (1.053)^{(18-20)} = 0.67 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$



$$K_o = 0.5 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

$$OD = 2 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

$$0.67 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \ln \frac{15 \left[ \frac{g}{m^3} \right]}{0.5 \left[ \frac{g}{m^3} \right]} + \left( 15 \left[ \frac{g}{m^3} \right] - 0.5 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) = 34 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \left( \frac{0.66 \left[ \frac{g}{m^3} \right]}{0.12 \left[ \frac{g}{m^3} \right]} \right) \left( \frac{2 \left[ \frac{g}{m^3} \right]}{0.5 \left[ \frac{g}{m^3} \right] + 2 \left[ \frac{g}{m^3} \right]} \right) t$$

Resolviendo y despejando t, se tiene:

$$t = 0.11 [días] = 2.7 [horas]$$

c) Determinando el tiempo de aireación

El tiempo de aireación seleccionado fue de 40 [min], lo que implica, que la aireación es requerida durante el periodo de llenado.

Al menos la mitad del tiempo de llenado se debe usar para la mezcla sin aireación, a fin de proporcionar un control sobre el IVL en la operación.

$$\text{Tiempo total de aireación} = \frac{160 [min]}{2} + 40 [min]$$

$$\text{Tiempo total de aireación} = 120 [min] = 2 [h]$$

Como este tiempo es menor al requerido implica que el  $NH_4-N$  no podrá ser removido a un nivel de  $0.5 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$ , motivo por el cual el nivel de remoción del  $NH_4-N$  será una restricción para el diseño de operación.

Realizando iteraciones se obtiene que el  $NH_4-N$  será removido a un nivel de  $4 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$  en un periodo de 40 minutos.

**8) Comprobando el grado de nitrificación que demuestre que el  $NH_4-N$  será removido a un nivel de  $4 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$  en un periodo de aireación de 40 minutos.**

$$NO_x = 37 \left[ \frac{g}{m^3} \right] = NH_4-N \text{ que puede ser oxidado, en el flujo de alimentación}$$

$NH_4-N$  oxidable en cada ciclo:

$$V_F(NO_x) = (14.4 [m^3]) \left( 41 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) = 538 \left[ \frac{g}{llenado} \right]$$

$$NH_4-N \text{ restante, antes de llenar} = V_S(N_e)$$

$$V_S(N_e) = N_e(V - V_F)$$

$$N_e(V - V_F) = 4 \left[ \frac{g}{m^3} \right] (41 [m^3] - 14.4 [m^3]) = 107 [g]$$



$$N_{\text{total oxidable al inicio de cada ciclo}} = 538 + 107 \\ = 645 [g]$$

$$\text{Concentración inicial } N_o = \frac{645 [g]}{V_T} = \frac{645 [g]}{41 [m^3]} = 16 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

- a) Determinando el tiempo de reacción  
i) Calculando la concentración de nitrificación

$$X_n = \frac{64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 0.12 \left[ \frac{g \text{ SSV}}{g \text{ NO}_x} \right] \right) \left( 52 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) (5.6 [\text{días}])}{\left[ 1 + \left( 0.11 \left[ \frac{g}{g * d} \right] \right) (5.6 [\text{días}]) \right] 41 [m^3]}$$

$$X_n = 34 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

- ii) Calculando el tiempo de reacción

$$\mu_{m(18^\circ\text{C})} = 0.75 \left[ \frac{g}{g * d} \right] * (1.07)^{(18-20)} = 0.66 \left[ \frac{g}{g * d} \right]$$

$$K_{n(18^\circ\text{C})} = 0.74 \left[ \frac{g}{m^3} \right] * (1.053)^{(18-20)} = 0.67 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

$$K_o = 0.5 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

$$OD = 2 \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

$$0.67 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \ln \frac{16 \left[ \frac{g}{m^3} \right]}{4 \left[ \frac{g}{m^3} \right]} + \left( 16 \left[ \frac{g}{m^3} \right] - 4 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) = 34 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \left( \frac{0.66 \left[ \frac{g}{g * d} \right]}{0.12 \left[ \frac{g \text{ SSV}}{g \text{ NO}_x} \right]} \right) \left( \frac{2 \left[ \frac{g}{m^3} \right]}{0.5 \left[ \frac{g}{m^3} \right] + 2 \left[ \frac{g}{m^3} \right]} \right) t$$

Resolviendo y despejando t, se tiene:

$$t = 0.08 [\text{días}] = 2 [\text{horas}]$$

- j) Determinando el tiempo de aireación

El tiempo de aireación seleccionado fue de 40 [min], lo que implica, que la aireación es requerida durante el periodo de llenado.

Al menos la mitad del tiempo de llenado se debe usar para la mezcla sin aireación, a fin de proporcionar un control sobre el IVL en la operación.

$$\text{Tiempo total de aireación} = \frac{160 [\text{min}]}{2} + 40 [\text{min}]$$

$$\text{Tiempo total de aireación} = 120 [\text{min}] = 2 [h]$$



9) Determinando la razón de bombeo en la decantación

Volumen a decantar = Volumen de llenado

$$\text{Razón de bombeo} = \frac{14.4m^3}{60[\text{min}]} = 0.2 \left[ \frac{m^3}{\text{min}} \right]$$

10) Determinando el oxígeno requerido para cada tanque

$$R_o = Q(S_o - S) - 1.42P_{x,bio} + 4.33Q(NO_x)$$

$$R_o = 64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \left( 560 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) - 1.42 \left( 10 \left[ \frac{kg}{\text{día}} \right] \right) + 4.33 \left( 64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día} * \text{tanque}} \right] \right) \left( 37 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) * \left( \frac{1}{10^3} \right)$$

$$R_o = 32 \left[ \frac{kg}{\text{día}} \right]$$

$$\text{Tiempo de aireación por ciclo} = 2[h]$$

$$\text{Número de ciclos por día} = 4.5$$

$$\text{Tiempo total de aireación} = 9 \frac{[h]}{[\text{día}]}$$

$$\text{Oxígeno promedio de transferencia} = \frac{32 \left[ \frac{kg}{\text{día}} \right]}{9 \frac{[h]}{[\text{día}]}} = 4 \frac{[kg]}{[hora]}$$

11) Determinando F/M

$$\frac{F}{M} = \frac{Q(DBO)}{V(X_{SSVLM})} = \frac{64.8 \left[ \frac{m^3}{\text{día}} \right] \left( 350 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right)}{41 \left[ m^3 \right] \left( 2139 \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right)}$$

$$\frac{F}{M} = 0.26 \left[ \frac{g}{g * \text{día}} \right]$$



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

- El sistema SBR diseñado anteriormente, contempla el uso de la infraestructura existente, debido a que una vez que el agua residual ingrese al cárcamo de recepción, se dirigirá hacia los reactores SBR, posteriormente el agua clarificada será depositada en el tanque de igualación a fin de regularla hacia el filtro a presión, luego se le agregará cloro para finalmente conducirla al cárcamo de disposición.
- Mediante este diseño no se logra nitrificar al 100%, debido a que los tiempos de aireación no lo permiten, sin embargo, el grado de nitrificación que se alcanza ( $4[\text{g}/\text{m}^3]$  en un tiempo de aireación de  $2[\text{h}]$ ) es apto para el riego de áreas verdes, uso destinado para el agua tratada. En caso de requerirse nitrificar al 100%, se deberá realizar otro análisis que cumpla con el criterio.
- Es importante reparar todos los elementos descompuestos (descritos en el apartado de diagnóstico de la planta) a fin de que la propuesta descrita en este documento opere eficientemente y bajo las condiciones adecuadas.



## 7. ANEXOS

---

### ANEXO 1 PLANOS DE LA PTAR DE LA FCPYS





## 8. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

---

ILUSTRACIÓN 1. DIAGRAMA QUE MUESTRA LA ANALOGÍA DE UNA PTAR CON UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL.....	3
ILUSTRACIÓN 3. FUNCIONAMIENTO DE UNA TRAMPA DE GRASA.....	4
ILUSTRACIÓN 2. EJEMPLO DE EMISORES DE LLEGADA.....	4
ILUSTRACIÓN 4. REJILLA DE LIMPIEZA MANUAL.....	5
ILUSTRACIÓN 5. REJILLA DE LIMPIEZA MECÁNICA.....	5
ILUSTRACIÓN 6. DESMENUZADOR TÍPICO.....	6
ILUSTRACIÓN 7. EJEMPLO DE CANAL PARSHALL.....	6
ILUSTRACIÓN 8. TIPOS DE SEDIMENTACIÓN.....	7
ILUSTRACIÓN 9. SISTEMA TÍPICO DE LODOS ACTIVADOS CON REACTOR COMPLETAMENTE MEZCLADO.....	9
ILUSTRACIÓN 10. BIOLOGÍA DEL SISTEMA DE CULTIVO ADHERIDO.....	10
ILUSTRACIÓN 11. ETAPAS DEL SISTEMA SBR.....	12
ILUSTRACIÓN 12. UBICACIÓN DEL I. DE ANTROPOLOGÍA, LA FCPYS Y TIENDA UNAM.....	14
ILUSTRACIÓN 13. UBICACIÓN DE ZONA DE INSTITUTOS Y UNIVERSUM.....	15
ILUSTRACIÓN 14. ESQUEMA DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PROCESOS DE AGUA Y LODOS EN LA PTAR.....	17
ILUSTRACIÓN 15. GASTOS DE ENTRADA REGISTRADOS EN LA PTAR DE LA FCPYS.....	21
ILUSTRACIÓN 16. ISOMÉTRICO DE LA PTAR DE LA FCPYS CON LÍNEAS DE CONDUCCIÓN.....	22
ILUSTRACIÓN 17. ISOMÉTRICO DE LA PTAR DE LA FCPYS CON EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS.....	23

## 9. ÍNDICE DE TABLAS

---

TABLA 1. TIPOS DE PROCESO DE CULTIVO SUSPENDIDO.....	9
TABLA 2. TIPOS DE PROCESO DE CULTIVO ADHERIDO.....	10
TABLA 3. COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.....	20
TABLA 4. RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO DE LA PTAR.....	24



## 10. BIBLIOGRAFÍA

---

1. Hernández Muñoz, Aurelio. Depuración y Desinfección de Aguas Residuales. 5ª ed. Editorial Thomson Learning Paraninfo, España, 2011. P.p. 1551.
2. Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4ª ed. Editorial Mc Graw Hill, E.U.A. 2003. P.p.1819.
3. Estudio preliminar de las Descargas de Aguas Residuales en la Zona de la Planta de Tratamiento e Aguas Residuales de la Facultad e Ciencias Políticas y Sociales. Dirección General de Obras y Conservación.
4. Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Dirección General de Obras y Conservación, 2001.