

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

**"EVALUACIÓN TÉCNICA Y PROPUESTA DE MEJORA DE LOS FILTROS PERCOLADORES DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL
LANDÍVAR"**

TESIS DE GRADO

RICARDO ANTONIO DE LEON PREM
CARNET 10515-09

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, JUNIO DE 2017
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

**"EVALUACIÓN TÉCNICA Y PROPUESTA DE MEJORA DE LOS FILTROS PERCOLADORES DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL
LANDÍVAR"**

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
RICARDO ANTONIO DE LEON PREM

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, JUNIO DE 2017
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA

SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN

DIRECTOR DE CARRERA: ING. OSMAN CARRILLO SOTO

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. JORAM MATIAS GIL LAROJ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

LIC. ADAN ERNESTO POCASANGRE COLLAZOS

LIC. FELIX ALAN DOUGLAS AGUILAR CARRERA

LIC. NELSON EDUARDO ORTIZ MELGAR

Guatemala 24 de abril de 2017

Magister
Alejandra Ortiz
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería

Estimada Ingeniera:

Por medio de este medio me es grato saludarle y desearle toda clase de éxitos en el desarrollo de sus actividades diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación titulado: "EVALUACIÓN TÉCNICA Y PROPUESTA DE MEJORA DE LOS FILTROS PERCOLADORES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR", del estudiante RICARDO ANTONIO DE LEON PREM, quien se identifica con número de carné 1051509. Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar, doy como aprobado dicho trabajo y soy corresponsable de lo escrito en este trabajo.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



MSc. Ing. Joram Gil Laroj
Ingeniero Civil
Maestría en Ingeniería Sanitaria
Catedra UNESCO del Agua
Catedrático URL



Universidad
Rafael Landívar
Tradicón Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA
No. 0266-2017

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante RICARDO ANTONIO DE LEON PREM, Carnet 10515-09 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02404-2017 de fecha 7 de junio de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**"EVALUACIÓN TÉCNICA Y PROPUESTA DE MEJORA DE LOS FILTROS
PERCOLADORES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR"**

Previo a conferírsele el título de INGENIERO CIVIL en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 26 días del mes de junio del año 2017.

MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTÍZ PATZAN, SECRETARÍA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A Dios: por darme vida y sabiduría permitirme seguir adelante superando los retos que diariamente me acontecen.

A mi madre Annabella Prem: por su apoyo incondicional, cariño y estar a mi lado siempre a lo largo del proceso de mi formación profesional.

A mi padre Roberto de León Malouf: por su esfuerzo, cariño y conocimiento transmitido para alentarme a seguir adelante a lo largo del proceso de mi formación profesional.

A mi hermano Roberto Estuardo de León Prem: por estar conmigo en todo momento y enseñarme a esforzarse para cumplir los sueños y el amor por la vida.

A mi novia: por su amor y apoyo durante este trayecto importante en mi vida.

A la Universidad Rafael Landívar: por ser la fuente de conocimiento de mi formación profesional. También agradecer a mis catedráticos por formar parte de este camino compartiéndome la pasión por nuestra profesión.

A mis compañeros: por ser parte de este camino lleno de experiencias inolvidables brindándome su amistad y apoyo.

A mí asesor Ing. Joram Gil: por guiarme a lo largo del proceso de este proyecto de graduación.

Al ingeniero Félix Aguilar: por su ayuda proporcionada y retroalimentación del diseño de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales, de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.

Al ingeniero Mario García: por su apoyo y darme seguimiento a lo largo de la carrera.

Al ingeniero Osman Carrillo: por su apoyo y conocimiento transmitido a lo largo de la carrera.

A las autoridades de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar: por aportarme información vital para la ejecución de este proyecto de graduación.

RESUMEN EJECUTIVO

Se realizó una evaluación técnica y propuesta de mejora de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. El trabajo se desarrolló en base a las distintas visitas que se han realizado a la planta de tratamiento de aguas residuales, específicamente enfocado a los filtros percoladores, ya que actualmente sólo el 32.78% del lecho filtrante de piedra volcánica es humedecido por el sistema de aspersión tipo Manifold que tiene implementado.

El objetivo principal de este estudio fue la evaluación técnica del agua residual actual, realizando un análisis fisicoquímico y verificando la calidad del agua. Para ello, se tomó una muestra de agua residual en el canal de unificación a la salida del filtro percolador. Esto también conllevó a revisar si actualmente se realizaba correctamente la operación y mantenimiento en el sistema.

Se determinó el caudal de entrada y salida del filtro percolador en horarios máximos y mínimos. También se verificaron los datos de la memoria de diseño del filtro percolador para realizar comparaciones en campo. De igual manera, se determinó el área de mojado actual en el filtro percolador mediante mediciones en campo.

Posteriormente, se tomó una muestra para realizar un análisis fisicoquímico en el Laboratorio de Agua de la Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales de la Colonia La Verbena (UNEPAR), que es una dependencia del Instituto de fomento Municipal (INFOM), de Guatemala. Con estos resultados se pudo determinar la calidad del agua a la salida del filtro percolador de la PTAR de la URL, Campus Central.

El proceso de monitoreo se ejecutó en los meses de octubre y noviembre del 2016, en el segundo ciclo de clases, lo cual puede afectar los resultados de las mediciones por el efecto de la variación de población que ingresa al Campus Central y que por ende influye en el comportamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

A lo largo del trabajo se pudo concluir que la PTAR de la URL, Campus Central, trabaja cumpliendo con los estándares de calidad del agua. Mejorando la operación con respecto a la alternación de las válvulas de caudal hacia los ramales de los filtros percoladores, se pudo aumentar el área de mojado a un 72.88% de un solo filtro.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Antecedentes	2
2.2 Plantas de tratamiento.....	3
2.3.1 Plantas de tratamiento anaerobias	4
2.3.2 Plantas de tratamiento aerobias	5
2.4 Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.....	5
2.5 Cumplimiento en la calidad de las aguas residuales.....	6
2.6 Etapas básicas para una planta de tratamiento de aguas residuales biológica.....	7
2.7 Filtros percoladores.....	9
2.8 Procedimiento para el diseño de filtros percoladores de carga baja.....	11
2.9 Sistemas de aspersion del agua residual hacia los filtros percoladores	13
2.10 Muestreo	16
2.11 Análisis de calidad del agua	17
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
3.1 Objetivos	22
3.1.1 General:	22
3.1.2 Específicos:	22
3.2 Hipótesis	22
3.3 Variables	23
3.4 Alcances y límites.....	24
3.4.1 Alcances.....	24
3.4.2 Límites	24
3.5 Aporte.....	24
IV. METODOLOGÍA	25
4.1 Localización.....	25
4.2 Instrumentos.....	26
4.3 Componentes de la PTAR de la URL, Campus Central.....	26
4.4 Procedimiento	31

4.4.1	Toma de Muestras.....	35
4.4.2	Pruebas de laboratorio	36
4.4.3	Propuesta de mejora del filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central	37
V.	RESULTADOS	38
VI.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
6.1	Análisis de calidad del agua:	40
6.2	Área de mojado actual en el filtro percolador:	42
6.3	Solución de la aspersion del agua residual en el lecho filtrante del filtro percolador:.....	43
6.4	Comprobar en campo la solución del sistema de aspersion del afluente y compararla con la actual que posee el filtro percolador:.....	45
VII.	CUADRO DE RESUMEN DE LA PROPUESTA SEGÚN PRIORIZACIÓN Y GASTOS FINANCIEROS	48
VIII.	CONCLUSIONES.....	51
IX.	RECOMENDACIONES.....	52
X.	REFERENCIAS	53
XII.	ANEXOS	55
12.1	Memoria de Cálculo del Filtro Percolador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.....	55
12.2	Informe Final acerca de los Filtros Percoladores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central	56
12.3	Resultados del Análisis Físicoquímico de Aguas Residuales en la salida del Filtro Percolador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.....	58
12.4	Manual de Operación y Mantenimiento de los Filtros Percoladores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central	59
12.5	Pruebas de calidad del agua residual realizadas por la URL, Campus Central, desde febrero del 2016 hasta agosto del 2016	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Composición típica de las aguas residuales domésticas	6
Figura 2 Parámetros o características que se miden para determinar la calidad del agua contaminada.....	7
Figura 3 A- Sistema rotatorio de distribución del afluyente hacia el lecho filtrante del filtro percolador de la PTAR de Villa Floresta. B- Sistema de distribución por manifold del filtro percolador de la PTAR de la URL, Campus Central.	14
Figura 4 Aireadores tipo cascada	15
Figura 5 Aireadores tipo bandejas	15
Figura 6 Boleta de identificación de muestra que se utiliza en INFOM	16
Figura 7 Sistema de aspersión actual tipo manifold de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central	21
Figura 8 Localización la PTAR de la URL, Campus Central	25
Figura 9 Canal de rejillas, desarenadores y trampa de grasas.....	27
Figura 10 Sedimentador Primario	27
Figura 11 Filtros percoladores (tratamiento secundario).....	28
Figura 12 Sedimentador Secundario (tratamiento Secundario).....	29
Figura 13 Desinfección (tratamiento terciario)	29
Figura 14 Digestor de Lodos.....	30
Figura 15 Patios de secado de lodos	30
Figura 16 Filtros percoladores PTAR USAC (izquierda) filtros percoladores (Planta Piloto de ERIS en Aurora II).....	31
Figura 17 Ubicación de los 2 puntos donde se tomarán las muestras	32
Figura 18 Toma de Muestra en canal de unificación del filtro percolador de la PTAR, de la URL, Campus Central.....	35
Figura 19 Equipo de bioseguridad	36
Figura 20 Medición de área de mojado del filtro percolador de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.....	37
Figura 21 Utilización de los 6 ramales al mismo tiempo	44
Figura 22 Mayor aspersión alternando las válvulas reguladoras de caudal	46
Figura 23 Antes (derecha) y después (izquierdo) de alternar las válvulas reguladoras de caudal	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rendimiento logrado en el Tratamiento del Agua Residual por medio de los Filtros Percoladores	9
Tabla 2 Características técnicas usuales para el diseño de filtros percoladores	10
Tabla 3 Determinación de carga hidráulica y orgánica de filtro percolador de la URL, Campus Central.....	13
Tabla 4 Puntos de muestreo en la PTAR de la URL, Campus Central.....	17
Tabla 5 Promedio de muestras en los meses de marzo, abril y mayo de 2014	18
Tabla 6 Eficiencias del sistema con datos proporcionados por la URL	18
Tabla 7 Variables dependientes e independientes.....	23
Tabla 8 Medición de caudal mínimo en la caja de registro previo a que el agua residual llegue a los ramales del filtro percolador	32
Tabla 9 Medición de caudal mínimo en el canal unificador.....	33
Tabla 10 Medición de caudal mínimo en la caja de registro previo a que el agua residual llegue a los ramales del filtro percolador	33
Tabla 11 Medición de caudal mínimo en el canal unificador	34
Tabla 12 Determinación del área de mojado del filtro percolador actualmente	38
Tabla 13 Resultados de las Pruebas Fisicoquímicas de Laboratorio realizadas en el Laboratorio de Agua del Instituto de Fomento Municipal INFOM.....	39
Tabla 14 Tabla de los límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.....	41
Tabla 15 Determinación área de mojado del filtro percolador alternando las válvulas reguladoras de caudal	45
Tabla 16 Cuadro de Resumen de la Propuesta según Priorización y gastos financieros	48

I. INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales se han convertido en una obligación para evitar la carga de contaminantes de una forma directa hacia las cuencas hidrográficas de todo el país. Con esto se logra reducir la contaminación superficial y los mantos freáticos, creando un desarrollo sustentable para no alterar las necesidades de las generaciones venideras. Es por ello que la Universidad Rafael Landívar, Campus Central, fijó como prioridad el proyecto de implementación de sistema de tratamiento de agua residual.

La Universidad Rafael Landívar, Campus Central, cuenta actualmente con una planta de tratamiento de aguas residuales biológica que trabaja por gravedad y con un mínimo de operación y mantenimiento. Dentro de su proceso, se encuentra el tratamiento secundario con 2 unidades de filtros percoladores las cuales deberían de trabajar en paralelo.

El trabajo se desarrolló en base a las distintas visitas que se han realizado a la planta de tratamiento de aguas residuales, específicamente enfocado a los filtros percoladores, ya que actualmente sólo el 32.78% del lecho filtrante de piedra volcánica es humedecido por el sistema de aspersion tipo Manifold que tiene implementado. Las mediciones se realizaron el 28 de octubre, 7, 14 y 21 de noviembre del 2016. Estas mediciones fueron para un solo filtro percolador, ya que actualmente trabajan 6 meses cada línea de conducción.

El objetivo principal de este estudio fue la evaluación técnica del agua residual actual, realizando un análisis fisicoquímico y verificando la calidad del agua. Para ello, se tomó una muestra de agua residual en el canal de unificación a la salida del filtro percolador. Esto también conllevó a revisar si actualmente se realizaba correctamente la operación y mantenimiento en el sistema.

Con la información recopilada a lo largo del trabajo se pudo concluir que la PTAR de la URL, Campus Central, trabaja cumpliendo con los estándares de calidad del agua. Mejorando la operación con respecto a la alternación de las válvulas de caudal hacia los ramales de los filtros percoladores, se pudo aumentar el área de mojado a un 72.88% de un solo filtro. El proceso de monitoreo se ejecutó en los meses de octubre y noviembre del 2016, en el segundo ciclo de clases, lo cual puede afectar los resultados de las mediciones por el efecto de la variación de población que ingresa al Campus Central y que por ende influye en el comportamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En el año 1974 - 1976 se construyó el Campus Central de la Universidad Rafael Landívar (URL) y conforme el transcurso de los años se fue desarrollando ampliaciones del mismo. La Universidad pasó aproximadamente 35 años vertiendo sus aguas residuales directamente al río Contreras, ubicado a un costado de la misma. De esta manera, fue necesario realizar una intervención y tomar acciones que favorecieran al medio ambiente.

En el año 2008 la URL, Campus Central, estableció como prioridad, implementar un proyecto de sistema de tratamiento de agua residual en esta casa de estudios.

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la URL se construyó con el objetivo de cumplir con las normativas ambientales de la República de Guatemala. Otro objetivo era preservar los recursos naturales, mejorar el entorno y sobre todo mejorar la calidad del agua del río Contreras.

La PTAR también se desarrolló con el fin de implementar una planta de tratamiento escuela, destinada a la enseñanza y retroalimentar los conocimientos adquiridos por los estudiantes e impulsar un desarrollo sustentable.

El agua residual que llega a la planta es de origen doméstico, ya que proviene de los servicios sanitarios, cocinetas, restaurantes y piletas del Campus Central de la URL. Las cocinetas y restaurantes tienen en su infraestructura trampas de grasas para el manejo de las grasas y aceites, así como la aplicación de bacterias para reducir el porcentaje de estos componentes en la PTAR.

Se han desarrollado diferentes trabajos de investigación específicamente en la PTAR de la URL, Campus Central. Estos estudios han sido realizados por estudiantes egresados de esta casa de estudios. Recinos y Barrios (2010) de la carrera de ingeniería civil, realizaron la guía para el muestreo y determinación de pruebas de laboratorio de la planta escuela de tratamiento de agua residual del Campus Central, Universidad Rafael Landívar. El objetivo de la misma era desarrollar una guía que fuera práctica y fácil de aplicar para el muestreo del agua de la planta escuela de tratamiento de agua residual del Campus Central de la URL. Esta tesis concluyó con 7 prácticas de laboratorio de muestreo, detallando al estudiante procedimientos y análisis a realizar en cada unidad de tratamiento de la PTAR. Con estos resultados se demuestra el funcionamiento y eficiencia de cada unidad de tratamiento.

Así mismo, Recinos y Lemus (2015) desarrollaron el estudio especial de maestría en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) acerca de la

evaluación del funcionamiento de la PTAR del Campus Central de la URL, para el reúso en riego del agua tratada como tratamiento terciario para la remoción de nutrientes. El objetivo de la misma era evaluar la eficiencia actual de la PTAR de la URL, Campus Central, también establecer la calidad del agua del efluente en la PTAR, determinar la eficiencia en la remoción de fósforo y nitrógeno al reusar el agua tratada en el riego de grama y chatías, finalizando con un análisis beneficio-costos en relación al reúso del agua residual tratada para el riego de los jardines de la URL, Campus Central. Este estudio especial concluyó que la eficiencia global del sistema es bajo para el tipo de tecnología instalada, sin embargo, la eficiencia global de la remoción de fósforo y nitrógeno si es lo esperado para tratamiento terciario. La calidad del agua del efluente en la PTAR cumple con el Acuerdo Gubernativo No.236-2006, pero para el caso de reúso de las aguas residuales, no cumple para coliformes fecales, encontrándose por arriba del valor establecido. Finalmente, el análisis beneficio-costos concluye que no es viable financieramente, pero ambientalmente sí, ya que se minimizaría la sobre explotación de manto freático, disminuye la carga contaminante hacia el río Contreras y la URL avanzaría en el desarrollo programa de campus sustentable mejorando la relación de convivencia entre sociedad y naturaleza.

También se encuentra la tesis de grado de Lavagnino (2016) de la facultad de ciencias ambientales y agrícolas, acerca de la eficiencia en la remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. El objeto de la misma era evaluar la eficiencia de la PTAR y se concluyó que las unidades de tratamiento del sistema son poco eficientes, sin embargo, al contar con un mejor control de mantenimiento y manejo de personal, podría aumentar su eficiencia.

2.2 Plantas de tratamiento

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son instalaciones que por medio de procedimientos mecánicos, físicos, químicos y biológicos mejoran la calidad del agua contaminada reduciendo los contaminantes físicos, químicos y microbiológicos. El objeto de la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales es mejorar la calidad del agua, para que a la hora de la descarga a un cuerpo receptor, no perjudique al medio ambiente ni la salud de las personas que tengan contacto con la misma.

Para el caso de este estudio se enfocó en plantas de tratamiento de aguas residuales biológicas, como es el caso de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central que utiliza tratamiento por medio de bacterias para la degradación de la materia orgánica.

Esta planta cuenta con varias etapas o procesos para depurar el agua residual. Se divide en un pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario y tratamiento de lodos. Estos se explicarán más adelante con el ejemplo de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales trabajan mediante el tratamiento biológico que es la remoción de contaminantes mediante la actividad biológica. La actividad biológica se aprovecha para remover sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas del agua residual, mediante la conversión en gases que escapan a la atmósfera y biomasa extraíble por la sedimentación. (Ramírez, 2012)

La estabilización de la materia orgánica y sólidos coloidales no sedimentables se consigue biológicamente por la acción de microorganismos, principalmente bacterias. Estos microorganismos utilizan la materia orgánica para convertirla en tejido celular.

El tratamiento biológico de las PTAR puede ser por medio de organismos aerobios y anaerobios los cuales se explican a continuación con sus respectivas tecnologías.

2.3 Tecnologías biológicas para el tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales biológicas pueden ser de tipo anaerobio y aerobio.

Las PTAR de tipo anaerobio son en las cuales los organismos asimilan sus alimentos en ausencia de oxígeno. En otras palabras, los microorganismos descomponen el material biodegradable a metano y dióxido de carbono.

Las PTAR de tipo aerobias son en las cuales los organismos asimilan sus alimentos en presencia de oxígeno. Es decir, que los microorganismos descomponen el material biodegradable indeseado en el agua generando flóculos de sustancias orgánicas que decantan o sedimentan en el fondo de su contenedor.

2.3.1 Plantas de tratamiento anaerobias

Existen variedad de procesos para el tratamiento de aguas residuales de tipo anaerobio como por ejemplo las fosas sépticas, lagunas de estabilización anaerobias, reactores anaerobios de lecho fijo y crecimiento libre o suspendido y reactores anaerobios de flujo ascendente.

Tienen la ventaja que requiere de bajos costos de inversión, alta eficiencia de tratamiento, espacios relativamente pequeños para operar y baja producción de lodo en exceso. Las desventajas de este tipo de tratamiento son la producción de compuestos como metano y ácido sulfhídrico.

Algunas aplicaciones de la tecnología anaerobia son de aguas residuales provenientes de industrias: cerveceras y bebidas, alimentos y destilerías de alcohol.

2.3.2 Plantas de tratamiento aerobias

Existen variedad de procesos para el tratamiento de aguas residuales de tipo aerobio como por ejemplo los lodos activados, lagunas aireadas, sistemas biológicos de contacto rotatorios, humedales y en este caso, el presente trabajo tiene enfoque en los filtros percoladores biológicos.

En las plantas de tratamiento aerobias existen medios naturales, donde no se emplea ningún aditivo químico. Estos sistemas se pueden clasificar en tratamientos en el terreno y sistemas acuáticos.

Los sistemas de tratamiento en el terreno son métodos como la infiltración lenta y rápida y flujo superficial.

Los sistemas acuáticos son los humedales, que son áreas saturadas por aguas superficiales o subterráneas donde la vegetación proporciona superficies para la formación de bio-películas, facilitando la filtración del agua residual.

2.4 Acuerdo Gubernativo No. 236-2006

El Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 es el Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, cuyo objeto es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como la disposición de lodos. También tiene el objetivo de establecer mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

Este reglamento permite proteger los cuerpos receptores de agua de impactos provenientes de la actividad humana y también recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.

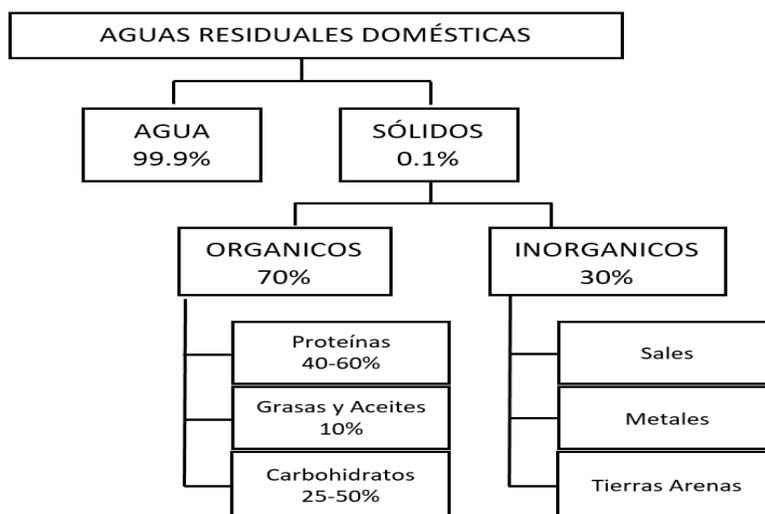
El reglamento posee tres principales partes: una acerca de las descargas del agua residual tratada, otra del reúso de esa agua y por último el tratamiento de lodos. En el caso de las descargas, este reglamento presenta límites para desechar el agua residual en esteros, alcantarillado público y cuerpos receptores. Es por ello que el reglamento se aplica para la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Universidad Rafael Landívar, ya que sus descargas son hacia un cuerpo receptor, en este caso el río Contreras que se encuentra a un costado de la Universidad, Campus Central. Este río descarga sus aguas al río Negro, éste al río Las Vacas y finalmente éste al río Motagua.

2.5 Cumplimiento en la calidad de las aguas residuales

El Acuerdo Gubernativo no. 236-2006 define las descargas de aguas residuales a un cuerpo receptor como las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas. Las aguas que se recolectan en la PTAR de la Universidad Rafael Landívar son de tipo ordinario, es decir que sus aguas residuales son generadas por actividades domésticas, como servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, etc.

Las aguas residuales domésticas (ARD) están compuestas generalmente por un 99.9% de agua y 0.1% de sólidos. De este porcentaje de sólidos, el 70% son de origen orgánicos y el 30% inorgánicos. Se muestra en la siguiente figura (1) este desglose:

Figura 1 Composición típica de las aguas residuales domésticas



Fuente: Camarero (2009)

La calidad del agua se refiere a la expresión de un conjunto de características de un bien o servicio para enfrentar la satisfacción de un usuario, comprador o consumidor para el bien común de la humanidad. Esta se puede medir a través de las características físicas, químicas y biológicas. (Lavagnino, 2016).

Los parámetros o características que se deben medir para determinar la calidad del agua contaminada se encuentra a continuación.

Figura 2 Parámetros o características que se miden para determinar la calidad del agua contaminada

Parámetros	Medido en:
Propiedades físicas	
- Color	Residuos domésticos e industriales, descomposición de materiales orgánicos.
- Olor	Aguas residuales en descomposición, residuos industriales.
- Sólidos	Abastecimiento de agua, residuos domésticos e industriales, erosión de suelos, infiltración de aguas subterráneas, residuos mineros.
- Temperatura	Residuos domésticos e industriales y mineros. Centrales.
Componentes químicos	
Orgánicos	
- Carbohidratos	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
- Grasas animales, aceites, grasas	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
- Pesticidas	Residuos agrícolas
- Fenoles	Residuos industriales
- Proteínas	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
- Contaminantes principales	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
- Detergentes	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
- Compuestos orgánicos volátiles	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
- Otros	Descomposición natural de materiales orgánicos.
Inorgánicos	
- Alcalinidad	Residuos domésticos, abastecimiento de agua, infiltración de aguas subterráneas.
- Cloruros	Residuos domésticos, abastecimiento de agua, infiltración de aguas subterráneas
- Metales pesados	Residuos industriales
- Nitrógeno	Residuos domésticos y agrícolas
- Acidez	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
- Fósforo	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
- Azufre	Residuos domésticos, abastecimiento de agua, actividades comerciales e industriales.
Gases	
- Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos.
- Metano	Descomposición de residuos domésticos.
- Oxígeno	Abastecimiento de agua, actividades comerciales e industriales.
Constituyentes biológicos	
- Animales	Cursos de agua abiertos y plantas de tratamiento.
- Plantas	Cursos de agua abiertos y plantas de tratamiento
- Bacterias	Residuos domésticos, infiltración de aguas superficiales, plantas de tratamiento.

Fuente: Lavagnino (2016)

2.6 Etapas básicas para una planta de tratamiento de aguas residuales biológica

Una planta de tratamiento de aguas residuales biológica debe de cumplir con etapas básicas para su correcta funcionalidad y disposición de lodos.

- A. Pretratamiento: en esta etapa se mide el caudal de agua que ingresa a la PTAR y se evita que ingrese materia inorgánica, sólidos gruesos, grasas y aceites. Se remueven parámetros físicos del agua residual. Esta etapa es

indispensable para facilitar la operación y mantenimiento de las fases siguientes en el proceso de la planta.

- B. Tratamiento primario: su función es separar los sólidos sedimentables en el agua mediante la acción de la gravedad. El agua circula lentamente para permitir que los sólidos en suspensión sedimenten al fondo de esta unidad. Se remueven parámetros físico-químicos, teniendo un tiempo de retención hidráulica normalmente corto, entre 1 a 2 horas. Se encuentra compuesto por estanque sedimentador que puede ser de forma circular, cuadrada o rectangular. Esta etapa tiene la capacidad de eliminar hasta un 60% de los sólidos suspendidos.
- C. Tratamiento secundario: su función es eliminar la materia orgánica disuelta y en estado coloidal mediante el proceso de degradación biológica aerobia y seguida de la sedimentación. Los microorganismos se desarrollan sobre el medio filtrante (piedra volcánica, medio plástico, gravas, etc.). Estos microorganismos se alimentan de los sólidos en suspensión y en estado coloidal, originando biomasa que se precipita en el estanque secundario. Esta unidad de tratamiento remueve parámetros fisicoquímicos del agua residual. Las estructuras utilizadas para el tratamiento secundario son: filtros percoladores, filtros rotatorios, estanques de lodos activados, humedales, lagunas de estabilización u oxidación, entre otros.
- D. Tratamiento terciario: su función es la desinfección del agua residual, es decir remover los microorganismos y nutrientes provenientes de los procesos anteriores. Es un proceso vital previo al desfogue al cuerpo receptor, para prevenir la eutrofización e implementando un desarrollo sustentable.

Para la estabilización de los lodos:

- E. Digestor de lodos: se recolectan los lodos provenientes de los estanques o sedimentadores primarios y secundarios. Este proceso se lleva a cabo generalmente por medio de la estabilización anaerobia, permaneciendo dentro del reactor por tiempos considerables. La función principal de este tratamiento es inactivar los lodos, disminuyendo su concentración de DBO, pero hay mayor producción de gases.
- F. Unidad de patio de secado de lodos: unidad necesaria para deshidratar los lodos provenientes de la unidad de digestor de lodos. Su objetivo es eliminar los agentes patógenos por medio de los rayos del sol. La base de los patios de secado es permeable para permitir el secado de los lodos con mayor facilidad.

2.7 Filtros percoladores

Los filtros percoladores son bioreactores que por medio de una biopartícula o biofilm, adherida a un medio filtrante, elimina la materia orgánica del agua residual de manera aerobia. Los filtros percoladores han sido utilizados desde hace muchos años para el tratamiento biológico de las aguas residuales de origen doméstico y/o industrial.

La estructura se llena a una profundidad definida con un material permeable, como por ejemplo: piedra volcánica, plástico u otro similar que permita la formación de una película biológica en su superficie.

El agua residual se introduce por la parte superior de la estructura y se distribuye homogéneamente en el lecho filtrante, recolectándose en la parte inferior por medio de un canal de unificación.

La degradación de la materia orgánica contenida en el agua residual se logra por la variedad de microorganismos contenidos en la piel biológica que incluyen bacterias aerobias, anaerobias, facultativas, algas y protozoos. En la superficie del lecho filtrante también se encuentran gusanos, larvas de insectos y caracoles. (Ramírez, 2012).

Los sistemas de filtros percoladores presentan altas eficiencias en remoción de materia orgánica, medida como la demanda bioquímica de oxígeno DBO₅, pero suelen tener problemas como la propagación de moscas y producción de olores sépticos.

En la siguiente tabla (1) se muestra el rendimiento logrado en el tratamiento de agua residual por medio de los filtros percoladores.

Tabla 1 Rendimiento logrado en el Tratamiento del Agua Residual por medio de los Filtros Percoladores

Rendimiento de eliminación del constituyente, %						
Unidad	DBO	DQO	SS	P	N-org	N-NH ₃
Filtro Percolador	65-85	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15

Fuente: Ramírez (2012)

Los principales parámetros de diseño de los filtros percoladores son la carga orgánica y la carga hidráulica:

- Carga orgánica: es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) aplicado diariamente a una unidad de volumen de medio filtrante. Se expresa en $\text{kgDBO}_5/\text{m}^3/\text{día}$ o en $\text{mgDBO}_5/\text{m}^3/\text{día}$, influyendo en la velocidad de metabolismo en la capa biológica. (Ramírez, 2012).
- Carga hidráulica: es el caudal diario que se puede tratar por área del medio filtrante, es decir, la carga por unidad de superficie y se expresa en $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, que origina las velocidades de arrastre de la biomasa. (Ramírez, 2012).

En la tabla (2) que se muestra a continuación se observan las características técnicas usuales para el diseño de filtros percoladores:

Tabla 2 Características técnicas usuales para el diseño de filtros percoladores

ELEMENTO	BAJA CARGA	CARGA INTERMEDIA	CARGA ALTA	MUY ALTA CARGA	DESBASTE	DOBLE ETAPA
Medio filtrante	Piedra escoria	Piedra escoria	Piedra	Piedra	Plástico, madera pino	Roca plástico
Tamaño, cm	2.5 a 13 5 a 13	2.5 a 13 5 a 13	2.5 a 13	2.5 a 13	60 x 60 x 120	
Superficie específica, m^2/m^3	39 a 98	39 a 98	39 a 98	79 a 197	79 a 197 39 a 49	
Peso específico kg/m^3	800 a 1445	800 a 1445	800 a 1445	32 a 96	32 a 96 140 a 200	
Carga hidráulica, $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$	1.20 a 3.50	3.50 a 9.40	9.40 a 37.55	11.70 a 70.40	47.0 a 188.0	9.40 a 37.55
Carga orgánica, $\text{kg DBO}_5 / \text{m}^3/\text{día}$	0.08 a 0.40	0.25 a 0.50	0.50 a 0.95	0.48 a 1.60	1.60 a 8.0	0.95 a 1.80
Espacio vacío, %	40 a 55	40 a 55	40 a 55	92 a 97	92 a 97 70 a 80	
Profundidad, m	1.80 a 2.40	1.80 a 2.40	0.90 a 1.80	3.0 a 12.2	4.5 a 12.2	
Relación recirculación	0	0 a 1	1 a 2	1 a 2	1 a 4	0.5 a 2
Arrastre de sólidos	Intermitente	Intermitente	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
Presencia de moscas	Abundantes	Algunas	Escasas	Escasas a ninguna	Escasas a ninguna	Escasas a ninguna
Eficiencia de eliminación de DBO, %	80 a 90	50 a 80	65 a 90	65 a 90	40 a 70	85 a 95
Efluente	Bien nitrificado	Parcialment e nitrificado	Poco nitrificado	Poco nitrificado	No nitrificado	Bien nitrificado

Fuente: Ramírez (2012)

2.8 Procedimiento para el diseño de filtros percoladores de carga baja

a. Calcular el área por carga hidráulica

$$A_{FP} = \frac{Q}{C_{FPH}}$$

Dónde:

Q = Caudal, m³/día

CFPH = Carga hidráulica, m³/m²/día

b. Calcular el volumen

$$V_{FP} = A_{FP} * p$$

Dónde:

A_{FP} = Área superficial del filtro percolador, m²

P = Profundidad, m

c. Verificar la Carga Orgánica:

Carga de DBO₅:

$$R_0 = Q(DBO_{5,A} - DBO_{5,E})$$

Dónde:

Q = Caudal, m³/día

DBO_{5,A} = DBO₅ afluente, mg/L

DBO_{5,E} = DBO₅ efluente, mg/L

- Carga Orgánica:

$$C_{FP,DBO} = \frac{R_0}{V_{FP}} = \frac{Q(DBO_{5,A} - DBO_{5,E})}{V_{FP}}$$

Dónde:

R₀ = Carga de DBO₅, kgDBO₅/día

V_{FP} = Volumen del filtro percolador, m³

La carga debe estar dentro del rango de 0.1 a 0.3 kg DBO₅/m³-día

(Oakley, 2011)

Para los filtros percoladores existe un modelo matemático donde se integran los parámetros de diseño en función de la velocidad de remoción de materia orgánica soluble en agua, ésta siendo proporcional a la cantidad de materia orgánica restante.

$$\frac{S}{S_0} = e^{-Kt}$$

Dónde:

S = Demanda bioquímica del efluente, mg/L

S₀ = Demanda bioquímica del afluente, mg/L

K = Constante de reacción, días⁻¹.

t = Tiempo de contacto en el filtro, días.

El tiempo se puede determinar de la siguiente manera:

$$t = KD/Q^n$$

Dónde:

D = Profundidad del filtro, m

Q = Carga hidráulica por unidad de superficie, m³/m²-día

n = Exponente

Al combinar ambas ecuaciones se obtiene:

$$\frac{S}{S_0} = e^{\frac{-KD}{Q^n}}$$

La ecuación obtenida es válida únicamente para filtros que no implementan recirculación. Para medios filtrantes que utilizan piedra volcánica, se utilizan los siguientes valores:

n = 1.02

K = 0.1290 días⁻¹

Para grava:

n = 0.725

K = 0.1072 días⁻¹

Y para medio filtrante de grava de concreto de 2 pulgadas de diámetro:

$$n = 0.709$$

$$K = 0.1029 \text{ días}^{-1}$$

(Oakley, 2011)

El tratamiento secundario siempre está compuesto por el filtro percolador y muy importante implementar el sedimentador secundario, ya que al pasar el agua residual por el filtro percolador, los contaminantes orgánicos cambian a ser compuestos más sencillos de tratar, significando que se suspenderán en el fondo de la siguiente unidad de proceso, es decir el sedimentador secundario.

En estudio especial de maestría en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) de Recinos y Lemus (2015) se determinó la carga hidráulica y carga orgánica los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3 Determinación de carga hidráulica y orgánica de filtro percolador de la URL, Campus Central

Filtro percolador		
Area superficial	148,75	m ²
Volumen	223,12	m ³
Caudal día	175,54	m ³ /día
Carga hidráulica	1,18	m ³ /m ² /día
Carga orgánica	0,32	KgDBO ₅ /m ³ /día

Fuente: Recinos y Lemus (2015)

2.9 Sistemas de aspersion del agua residual hacia los filtros percoladores

El sistema de distribución puede ser rotativo o mediante sistema manifold de tuberías.

- El sistema rotativo: generalmente utiliza la misma fuerza con la que ingresa el afluente para que permita el movimiento rotacional del dispositivo.

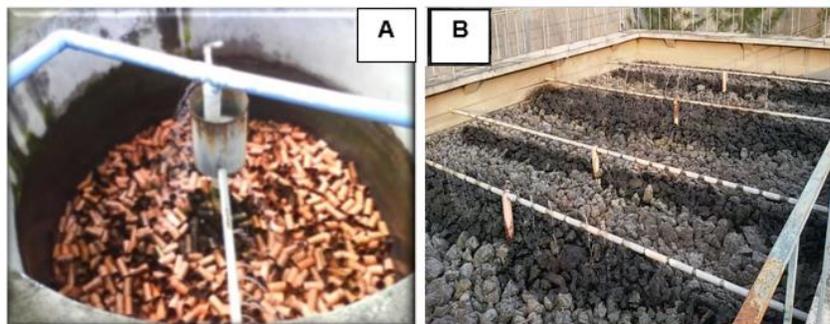
- El sistema manifold de tuberías: utiliza tubería con agujeros, que tienen la función de un aspersor, para rociar homogéneamente el afluente sobre toda el área superficial del lecho filtrante.

En este punto de la aspersión se aplica un concepto importante que es la aireación. La aireación es el proceso mediante el cual se aumenta la superficie de contacto entre el agua y el aire, ya sea por métodos naturales o mecánicos. Con la aireación se reducen los contenidos de dióxido de carbono y también se elimina gran parte del sulfuro de hidrógeno y otros componentes olorosos.

Lo más importante a considerar en el sistema de aspersión para distribuir homogéneamente el agua residual es: la facilidad de limpieza, que tenga capacidad de poder manejar variaciones de caudal, material resistente a la corrosión y siempre tomar en cuenta la robustez en la construcción del sistema.

A continuación se muestra en la figura (3) un sistema de distribución rotativo y por manifold.

Figura 3 A- Sistema rotatorio de distribución del afluente hacia el lecho filtrante del filtro percolador de la PTAR de Villa Floresta. **B-** Sistema de distribución por manifold del filtro percolador de la PTAR de la URL, Campus Central.

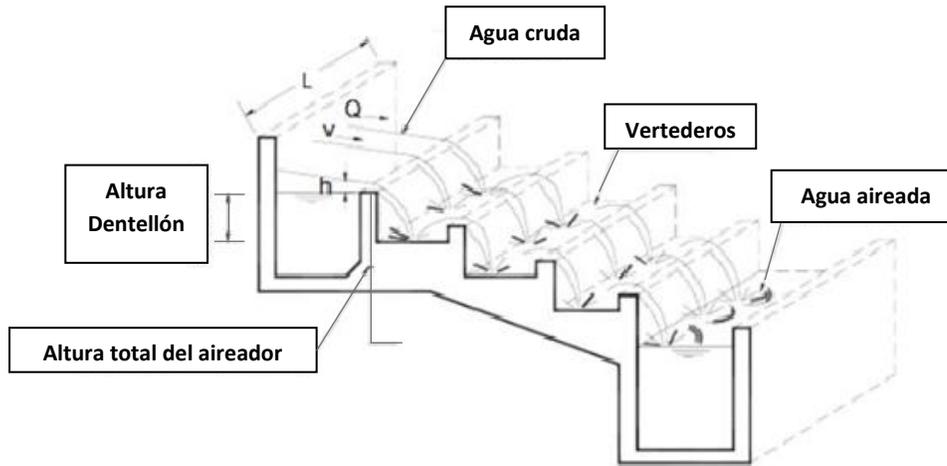


Fuente: elaboración propia (2016)

Existen otros tipos de sistemas de aspersión. Se utiliza la aireación de tipo de contacto en los cuales se expone el agua al aire. Estos pueden ser por aspersión y por bandejas o en láminas delgadas, es decir, aireadores de cascada.

Los aireadores de cascada se subdividen en varias caídas para incrementar la cantidad de oxígeno al agua.

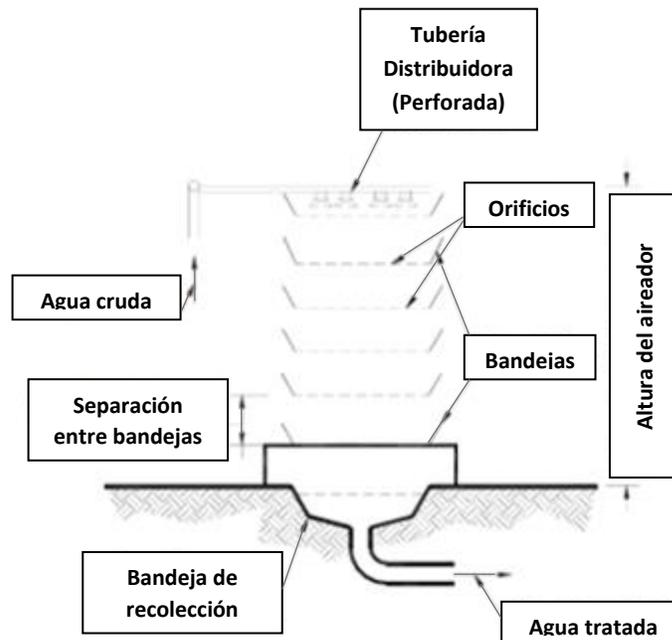
Figura 4 Aireadores tipo cascada



Fuente: Universidad Nacional Abierta y a Distancia (2013)

Los aireadores de bandejas con perforaciones en su inferior, se colocan en forma sucesiva a distancias entre 30 a 75 cm. El agua cae de la parte superior y debe de distribuirse a través de una tubería perforada cayendo de una bandeja a otra. Los orificios deben de ser circulares con diámetros de 5-12mm con una separación de 2.5cm entre ellos.

Figura 5 Aireadores tipo bandejas



Fuente: Universidad Nacional Abierta y a Distancia (2013)

Finalmente, cualquier tipo de tuberías, plataformas, cortinas, entrepaños y escaleras, desarrollarán el efecto de aireación aumentando la salpicadura y tiempo de contacto con el aire, haciendo eficiente el sistema.

2.10 Muestreo

Este procedimiento se realiza para conocer las características del agua. Esta información recolectada es importante para desarrollar, implementar y corregir procesos en el tratamiento del agua residual y su eficiencia. Así mismo, se debe de llevar un registro con una boleta de identificación de muestra.

A continuación se muestra una imagen de la boleta de identificación de muestra que se utiliza en el Laboratorio de Agua del Instituto de fomento Municipal INFOM.

Figura 6 Boleta de identificación de muestra que se utiliza en INFOM

El formulario de identificación de muestra de agua del Laboratorio de Agua del Instituto de Fomento Municipal (INFOM) está dividido en varias secciones:

- Encabezado:** Incluye el logo del INFOM (Instituto de Fomento Municipal, Guatemala) y el texto "INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL LABORATORIO DE AGUA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA DE AGUA". A la derecha, se indica "Laboratorio de Agua" con el lema "Un vital elemento de apoyo".
- 1. DATOS DE LA MUESTRA:** Campos para registrar: Interesado, Punto de muestreo, Fuente, Municipio y Departamento.
- 2. DATOS DE LA CAPTACIÓN:** Campos para registrar: Responsable, Fecha y Hora.
- Para USO DEL LABORATORIO:** Campo para registrar el número de muestras.

Fuente: Laboratorio de Agua (2016)

Para el método de muestreo del agua residual de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, se realizó una muestra simple que representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares. Se debe de utilizar el equipo de bioseguridad necesario para efectuar esta actividad.

Esto incluye:

- Lentes protectores
- Bata de laboratorio
- Guantes
- Botas de punta de acero

Posteriormente, se debe de introducir el recipiente muestreador en el caudal hasta llenar el recipiente. De ser necesario, se puede utilizar otro recipiente para terminar de llenar el recipiente de muestra con su debido registro. El punto donde se recolectó la muestra fue en el canal de unificación del filtro percolador, es decir, a la salida del mismo.

Para conservar y transportar la muestra se debe de utilizar hielo o un sistema de refrigeración que mantenga la temperatura alrededor de 4°C, cuando el tiempo es mayor a 3 horas, de lo contrario se puede llevar a temperatura ambiente lo más pronto posible al laboratorio, ya que hay que enfatizar que mientras más corto sea el tiempo que transcurra entre la toma de la muestra y su análisis, más confiables serán los resultados.

2.11 Análisis de calidad del agua

Es recomendable realizar pruebas de laboratorio para analizar la calidad del agua residual. Para el caso de la evaluación del filtro percolador, es necesario un análisis fisicoquímico para determinar las características físicas y químicas del agua residual. Estos resultados se deben de comparar con el Reglamento 236-2006 para verificar su cumplimiento.

En estudio especial de Recinos y Lemus (2015), durante los meses de marzo, abril y mayo del 2014, efectuaron análisis de laboratorio en la entrada y salida del sedimentador primario, salida del filtro percolador y salida del sedimentador secundario. Estos análisis de calidad del agua, fueron realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). A continuación se muestra el promedio de los análisis realizados por ellos en la tabla 4 y 5. La tabla 6 indica la eficiencia de todo el sistema en cuanto al ingreso y salida del agua residual enfocado a DBO₅ y DQO.

Tabla 4 Puntos de muestreo en la PTAR de la URL, Campus Central

Puntos de muestreo	
Ingreso al sedimentador primario	S1-E
Salida del sedimentador primario	S1-S
Salida del filtro percolador	FP-S
Salida del sedimentador secundario	S2-S

Fuente: Recinos y Lemus (2015)

Tabla 5 Promedio de muestras en los meses de marzo, abril y mayo de 2014

Parámetro	Unidad	PROMEDIO			
		S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S
DQO	mg/l	541,86	402,71	243,00	201,29
DBO5	mg/l	328,89	223,71	167,84	169,26
N total	mg/l	95,57	94,40	85,37	73,60
P total	mg/l	4,16	4,37	5,11	4,40
TSS	mg/l	204,06	76,64	84,05	46,83
pH	unidades	7,84	7,29	7,55	7,44
Solidos disueltos	mg/l	411,81	433,81	414,37	428,77
Temperatura	°C	25,77	25,54	25,39	25,29
Conductividad eléctrica	µS/cm	777,00	818,50	781,83	809,00
Color	U. pt-cb	319,71	221,00	188,86	169,29
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	5,19E+06
Turbiedad	UNT	117,56	63,67	64,23	43,61

ND	No determinado
FR	Fuera de rango

Fuente: Recinos y Lemus (2015)

Tabla 6 Eficiencias del sistema con datos proporcionados por la URL

Fecha	DBO5 (mg/l)			DQO (mg/l)			Relación DBO/DQO
	Ingreso	Salida	Eficiencia	Ingreso	Salida	Eficiencia	
22-may-10	440	58	87 %	890	100	89 %	0,49
05-ago-10	500	55	89 %	990	160	84 %	0,51
25-sep-10	134	61	54 %	450	100	78 %	0,30
08-nov-10	283	95	66 %	567	191	66 %	0,50
20-ene-11	696	24,8	96 %	1030	100	90 %	0,68
17-feb-11	400	74,2	81 %	520	100	81 %	0,77
17-mar-11	220	40	82 %	344	85	75 %	0,64
08-abr-11	200	30	85 %	360	100	72 %	0,56
12-may-11	150	20	87 %	380	80	79 %	0,39
23-jun-11	220	50	77 %	450	120	73 %	0,49
21-jul-11	180	106,4	41 %	500	200	60 %	0,36
18-ago-11	250	30,1	88 %	500	100	80 %	0,50
22-sep-11	150	50	67 %	280	100	64 %	0,54
24-oct-11	100	50	50 %	300	100	67 %	0,33
21-nov-11	130	50	62 %	450	120	73 %	0,29

Continuación Tabla 6.

31-ene-12	200	250	-25 %	920	680	26 %	0,22
13-feb-12	390	100	74 %	780	200	74 %	0,50
14-mar-12	157,5	76,7	51 %	480	130	73 %	0,33
14-abr-12	120	90	25 %	280	200	29 %	0,43
15-may-12	210	90	57 %	520	280	46 %	0,40
29-jun-12	174	76	56 %	248	99	60 %	0,70
31-jul-12	135	46	66 %	248	99	60 %	0,54
03-sep-12	153	41	73 %	325	81	75 %	0,47
01-oct-12	200	48	76 %	387	166	57 %	0,52
02-nov-12	215	99	54 %	307	49	84 %	0,70

 Época lluviosa
  Época seca

Fuente: Recinos y Lemus (2015)

La mayoría de los datos muestran una relación DBO5/DQO mayor a 0,4, indicando ser aguas muy biodegradables, únicamente 7 datos (el 28 %) indica relaciones biodegradables cercanas a 0,2. No se encontró ninguna correlación entre los cambios en la relación DBO5/DQO y la época del año lluviosa o seca. Estos resultados tampoco reflejan un cambio en la eficiencia promedio del sistema en época de lluvia o seca (66 % y 64 % respectivamente para la DBO5). (Recinos y Lemus, 2015).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los filtros percoladores de la PTAR de la URL, Campus Central han sido motivo de atención para los visitantes de la misma, deteniéndose a observar que gran parte del área de la piedra volcánica utilizada como medio filtrante, no es humedecida en la actualidad. Esto repercute en el funcionamiento del filtro percolador produciendo un impacto desfavorable del proceso y afectando generalmente a toda la PTAR.

Estos filtros biológicos aerobios tienen la función de trabajar como aspersores y distribuir de manera homogénea el afluente sobre toda el área superficial del filtro, logrando menor arrastre de biomasa y disminuir las zonas muertas o inertes. Cuando este proceso es eficiente se reducen los malos olores y se obtiene una película biológica adecuada.

Es importante mencionar que los 2 filtros percoladores, actualmente no se utilizan de manera paralela, conforme el diseño. Se utilizan 6 meses cada uno y esto repercute en la estabilización de las bacterias para efectuar el proceso biológico en la PTAR.

Actualmente, el filtro percolador evaluado tiene un área de mojado de 53.1m^2 , es decir que de 162m^2 que conforma el área del filtro, únicamente el 32.78% es humedecido por el sistema de tubos perforados de hierro galvanizado llamado "Sistema tipo Manifold". Al considerar el área total de los 2 filtros percoladores, el área de mojado sería únicamente del 16.39%, ya que no se utilizan los 2 al mismo tiempo.

El agua residual proveniente del tratamiento primario hacia los filtros percoladores, no se distribuye por medio del sistema de aspersión de manera homogénea ni mucho menos constante. Esto se puede observar mediante la siguiente fotografía.

Figura 7 Sistema de aspersión actual tipo manifold de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central



Fuente: Landívar (2015)

Esto se debe a que la tubería perforada no es eficiente debido a que los agujeros se tapan. Esto es provocado por el arrastre de sólidos suspendidos, contenido de partículas de minerales en las aguas residuales y mala presión de salida en los tubos perforados, provocando que el agua únicamente salga de algunos agujeros. Además, actualmente no se tiene una manipulación correcta de las válvulas que regulan la entrada de caudal a los ramales del filtro. De igual manera, los 6 ramales no se encuentran distribuidos de manera simétrica a lo largo del lecho filtrante del filtro.

Este sistema de aspersión no está trabajando eficientemente lo que conlleva a que no se aproveche al máximo la piedra volcánica que se utiliza como lecho filtrante y las partes que no se humedecen carecen de funcionalidad.

Cuando no se aprovecha el medio filtrante de manera adecuada afecta la calidad del agua, ya que impide el crecimiento de la película biológica o biofilm, provocando que no se lleve a cabo eficientemente la estabilización de la materia orgánica que contiene el agua residual tratada. En otras palabras, la materia orgánica contenida en el agua residual no se degrada eficientemente porque los microorganismos contenidos en la película biológica, se encuentran agrupados impidiendo su crecimiento natural.

Esta etapa de la PTAR es de suma importancia, ya que en este espacio se presentan altas eficiencias en remoción de DBO_5 y retienen los sólidos no sedimentables que cruzaron los procesos anteriores. Con un buen funcionamiento de los filtros percoladores aumenta a la calidad del agua, es decir que sus características físicas, químicas, y microbiológicas mejoran.

¿Por qué los aspersores son deficientes y no mojan toda el área disponible?

3.1 Objetivos

3.1.1 General:

- Evaluar la eficiencia y proponer mejoras del sistema de aspersores en los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.

3.1.2 Específicos:

- Determinar la calidad del agua actual del efluente en los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.
- Determinar el área de mojado actual del filtro percolador que está operando actualmente en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.
- Proponer una solución eficiente de la aspersión del agua residual de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de Universidad Rafael Landívar, Campus Central, para eliminar los puntos muertos en el lecho filtrante.
- Comprobar en campo la solución del sistema de aspersión del afluyente y compararla con la actual que poseen los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de Universidad Rafael Landívar, Campus Central.

3.2 Hipótesis

El presente trabajo de graduación es un proyecto, por lo que no se expone ninguna hipótesis, ya que no es un trabajo de investigación.

3.3 Variables

Tabla 7 Variables dependientes e independientes

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL
DEPENDIENTES		
DBO	La cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia biodegradable presente en el agua. (Lavagnino, 2016).	Según la propuesta de mejora del sistema de aspersión en los filtros percoladores, se podrá observar que el parámetro de DBO disminuye con respecto al que se tiene actualmente en la PTAR de la URL (Universidad Rafael Landívar).
DQO	La cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (Lavagnino, 2016).	Según la propuesta de mejora del sistema de aspersión en los filtros percoladores, se podrá observar que el parámetro de DQO disminuye con respecto al que se tiene actualmente en la PTAR de la URL (Universidad Rafael Landívar).
Caudal	El volumen de agua por unidad de tiempo (Ramírez 2012).	Con la nueva operación en las válvulas reguladoras de caudal, se podrá aumentar la presión de salida para obtener mayor área de mojado del lecho filtrante.
INDEPENDIENTES		
Afluente	Caudal de agua que llega a una planta o unidad de tratamiento (Ramírez 2012).	Con la nueva propuesta de operación en las válvulas reguladoras de caudal, la calidad del afluente siempre será el mismo.
pH	Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.	El pH no se alterará, ya que fue una propuesta nueva al sistema de aspersión del agua residual para su distribución homogénea en el filtro percolador.
Temperatura	Grado o nivel térmico de un cuerpo, objeto o de la atmósfera.	La temperatura no se alterará, ya que fue una propuesta nueva al sistema de aspersión del agua residual para su distribución homogénea en el filtro percolador.

Fuente: elaboración propia (2016)

3.4 Alcances y límites

3.4.1 Alcances

Se evaluó la eficiencia y propuso mejoras del sistema de aspersores en los filtros percoladores de la PTAR de la URL, Campus Central. Para esto, se determinó la calidad del agua actual del efluente mediante análisis de laboratorio realizado en el laboratorio de Agua del INFOM. Se determinó el caudal máximo y mínimo en la entrada y salida de un solo filtro percolador y el área de mojado actual mediante mediciones en campo. Se propuso una solución eficiente al sistema de aspersión para humedecer mayor cantidad del lecho filtrante y lograr formar una capa biológica eficiente, para la estabilización de la materia orgánica proveniente del agua residual. Finalmente, se comparó la solución propuesta con el área de mojado actual. Se realizaron entrevistas a expertos de ingeniería sanitaria y visitas de campo para ver otras experiencias de filtros percoladores con otros lechos filtrantes.

3.4.2 Límites

Las limitantes del trabajo de graduación es que se puntualiza en los filtros percoladores. Se trabajó únicamente el tratamiento secundario, acerca de los filtros percoladores, específicamente en el tema del sistema de aspersión del agua residual y el área de mojado. De esta manera determinar un sistema efectivo, para eliminar los puntos muertos en el lecho filtrante de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Además, únicamente se evaluó el filtro 1 debido a que el otro no se encontraba operando. Es importante destacar que el periodo de evaluación de dicho trabajo se efectuó a finales de octubre y el mes de noviembre del 2016, antes de la culminación del ciclo de clases en el campus, limitándose a las condiciones de ese periodo de tiempo.

3.5 Aporte

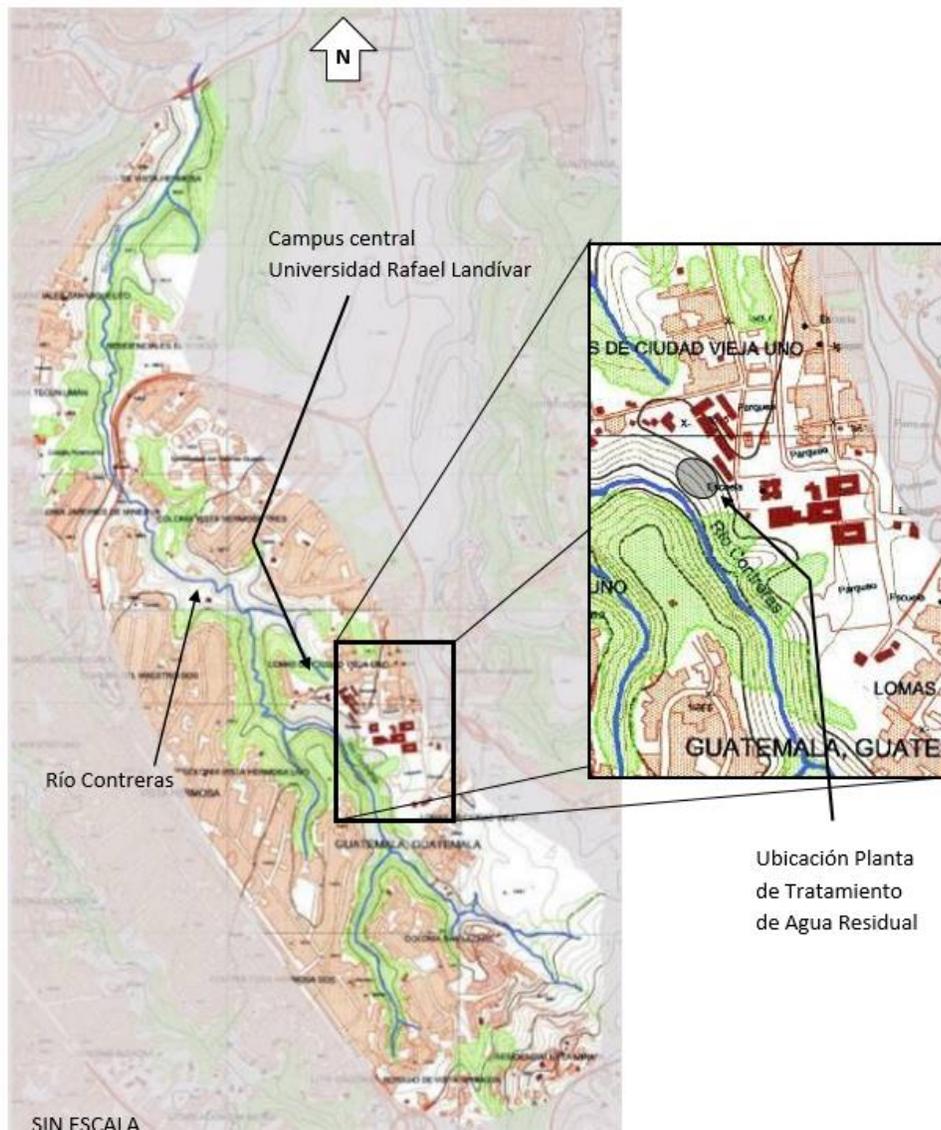
El trabajo tiene la finalidad de aportar una mejora del sistema de aspersión en los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. También mejorar la calidad del agua mediante el nuevo sistema de aspersión, eliminando los puntos muertos en el lecho filtrante de los filtros percoladores. Así se producirá la generación de una película biológica eficiente que descomponga los contaminantes orgánicos, contenidos en el agua, en compuestos más sencillos de tratar. Finalmente, el agua residual desechada al cuerpo receptor, que es el río Contreras, se podría verter con niveles más bajos de contaminación a comparación de los parámetros actuales en la PTAR.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Localización

La PTAR de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central, se encuentra localizada en Vista Hermosa III zona 16, Ciudad de Guatemala. Las coordenadas del filtro percolador evaluado es la siguiente: $14^{\circ}35'44.04''N$ - $90^{\circ}29'10.58''O$.

Figura 8 Localización la PTAR de la URL, Campus Central



Fuente: Recinos y Barrios (2010)

4.2 Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron fueron el equipo de bioseguridad para prevenir accidentes, además un metro para medir áreas y distancias, finalmente, un cronometro para determinar el caudal de entrada y salida en el filtro percolador. También se utilizó como instrumento la muestra para efectuar la prueba de laboratorio fisicoquímica del agua residual en la salida del filtro percolador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.

4.3 Componentes de la PTAR de la URL, Campus Central

La topografía que se presenta en el terreno donde se ubicó la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central, permitió que la hidráulica del agua residual fuera por gravedad.

Las actividades que se encuentran conectadas a la PTAR son los servicios sanitarios y cocinetas de restaurantes. Las cocinetas de los restaurantes, tienen un pretratamiento que son sus respectivas trampas de grasas antes de comenzar con los procesos de mejorar la calidad del agua.

El área que ocupa la PTAR es de 6,870.95m² y consta de dos líneas de tratamiento en paralelo que trabajan por gravedad y pueden utilizarse de manera simultánea o independiente por si se debe realizar alguna reparación o mantenimiento. La PTAR consta de siete componentes o procesos los cuales se enumeran y explican a continuación:

- 1) Pretratamiento: compuesto de un canal de rejas o cribado, desarenador y trampa de grasas que tienen el objeto de retener la materia de mayor tamaño, eliminando únicamente los parámetros físicos como por ejemplo: basura, arenas y grasas.

Figura 9 Canal de rejillas, desarenadores y trampa de grasas



Fuente: elaboración propia (2016)

- 2) Sedimentador primario: es el tratamiento primario que elimina los parámetros fisicoquímicos mediante la precipitación de gran cantidad de sólidos suspendidos. Estos se sedimentan en el fondo del sedimentador convirtiéndose en lodos que luego son descargados a otra unidad de tratamiento llamada digester de lodos. De esta manera, únicamente recorre a los siguientes procesos una mezcla mayormente líquida y homogénea.

Figura 10 Sedimentador Primario



Fuente: Landívar (2015)

- 3) Filtros percoladores: es el tratamiento secundario de las aguas residuales siendo de tipo biológico aerobio. Aquí se eliminan los parámetros fisicoquímicos y compuestos orgánicos por medio de procesos biológicos. En este proceso se eliminan los sólidos de mayor tamaño y parte de los sólidos suspendidos que pasaron el tratamiento primario. El agua residual es rociada por medio de tuberías perforadas llamadas sistemas tipo manifold, hacia el lecho filtrante que son piedras volcánicas de 1.50 de profundidad.

El sistema trabaja a presión y su distribución es por medio de aspersion de aireación tipo cascada. Esto provoca que se incremente la cantidad de oxígeno al agua disminuyendo el contenido de los gases no deseables.

En el lecho filtrante hay una película biológica que descomponen a los contaminantes orgánicos contenidos en el agua en compuestos más sencillos de tratar. Es por ello que estos sólidos suspendidos se transforman en sólidos sedimentables que se precipitan y sedimentan en el sedimentador secundario.

Figura 11 Filtros percoladores (tratamiento secundario)



Fuente: Landívar (2015)

- 4) Sedimentador secundario: el agua sale de los filtros percoladores en un canal de unificación hacia un sedimentador secundario para que los contaminantes precipiten en el fondo de este canal.

Figura 12 Sedimentador Secundario (tratamiento Secundario)



Fuente: Landívar (2015)

- 5) Desinfección: el tratamiento terciario es el último proceso para poder descargar el agua residual al cuerpo receptor, río Contreras, con niveles bajos de materia orgánica y materia suspendida. Se utiliza un clorinador conectado a un tubo de agua potable proveniente de la universidad para mezclar el agua potable con hojuelas de hipoclorito de sodio al 13% y obtener una solución de alta concentración de cloro que elimina los microorganismos que aún se encuentran en el agua previamente tratada. Cuando finaliza este proceso, el agua se puede descargar al río Contreras con los parámetros aptos de descarga, de acuerdo al Acuerdo Gubernativo No.236-2006.

Figura 13 Desinfección (tratamiento terciario)



Fuente: Landívar (2015)

- 6) **Digestor de lodos:** es la unidad de tratamiento cuyo objetivo es digerir los lodos provenientes de los sedimentadores, previo a que estos puedan ser deshidratados. Es un tratamiento anaerobio que fermenta la materia. Los procesos de estabilización anaerobias trabajan mejor a temperaturas en el rango de 20-35°C. Los lodos deben de tener un pH entre 6-8 y para controlar los olores se puede utilizar cal hidratada. La finalidad de este proceso es disminuir la concentración de DBO y cantidad de materia orgánica para posteriormente eliminar sus agentes patógenos en el patio de secado.

Figura 14 Digestor de Lodos



Fuente: Landívar (2015)

- 7) **Patios de secado de lodos:** en este proceso se deshidratan los lodos ya digeridos. Posteriormente pueden ser reutilizados como abono orgánico. El método de deshidratación es muy económico, ya que requiere de mínimo cuidado y mantenimiento, cumpliendo con el Artículo 40 del Acuerdo Gubernativo 236-2006. La finalidad es eliminar agentes patógenos y hacer los lodos más manejables y fáciles de transportar. La superficie de los patios de secado es una base permeable de baldosa que no tiene sisa para que el agua escurra y facilite el secado de los lodos.

Figura 15 Patios de secado de lodos

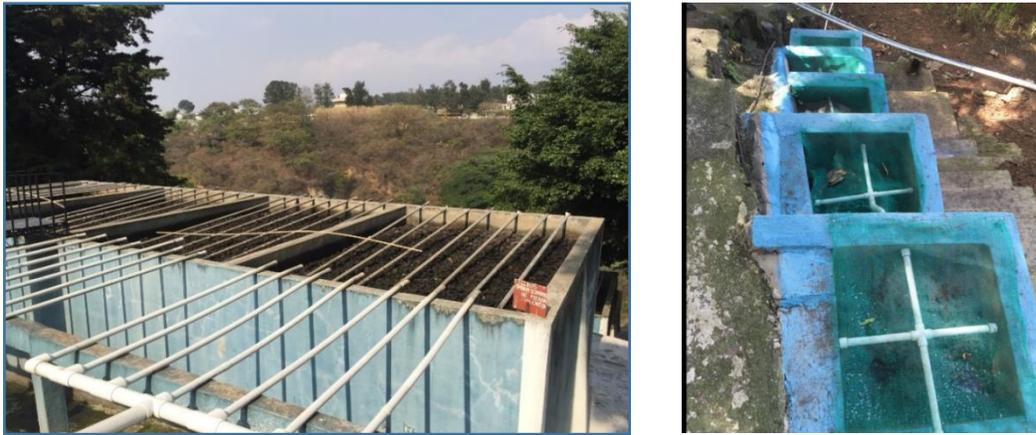


Fuente: Landívar (2015)

4.4 Procedimiento

Antes de enfocarse en los filtros percoladores de la PTAR de la URL, se realizaron visitas de campo a la PTAR de la USAC y a la planta piloto de ERIS en Aurora II, zona 13. Esto con la finalidad de conocer otras experiencias de filtros percoladores que tuvieran diferentes diseños y distintos lechos filtrantes.

Figura 16 Filtros percoladores PTAR USAC (izquierda) filtros percoladores (Planta Piloto de ERIS en Aurora II)

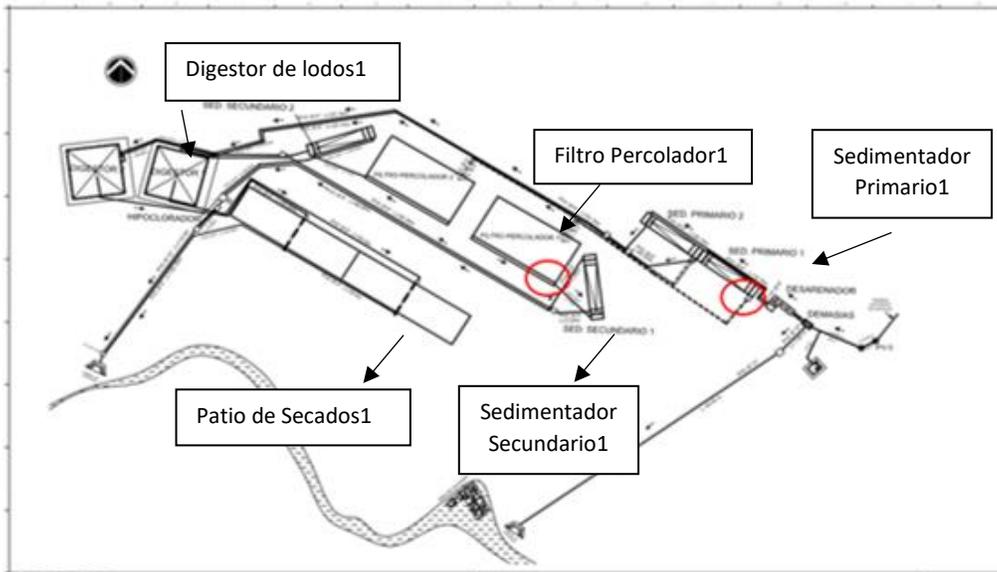


Fuente: elaboración propia (2016)

En la PTAR de la URL, Campus Central, se determinó el caudal de entrada y de salida en el filtro percolador 1, para indicar la diferencia entre los mismos. Los puntos específicos donde se tomaron las muestras y también se midió el caudal fueron:

- Caja de registro previo a que el agua residual llegue a los ramales del filtro percolador.
- Canal unificador, es decir, a la salida del filtro.

Figura 17 Ubicación de los 2 puntos donde se tomarán las muestras



Fuente: elaboración propia (2016)

Las mediciones se hicieron en el tiempo donde el caudal el máximo y mínimo. Se utilizó el método volumétrico en la entrada al filtro, específicamente en la caja de registro previa al ingreso al filtro percolador. Se empleó el método del flotador en la salida del filtro, específicamente en el canal unificador, es decir, a la salida del filtro.

En la tabla 8 y 9 se muestran los datos para obtener el caudal mínimo en la entrada y salida del filtro percolador.

Tabla 8 Medición de caudal mínimo en la caja de registro previo a que el agua residual llegue a los ramales del filtro percolador

CAJA DE REGISTRO (Método Volumétrico)			
Horario de Caudal mínimo 12:30-2:30p.m.			
Hora aforo	2:00 p.m.		
largo	290	cm	
ancho	70	cm	
Prof	30	cm	
	609000	cm ³	tiempo prom
	0.609	m ³	
609.00	lts		
tiempo	2.07	min	2.04
	124.40	seg	2.03
caudal min	4.90	lts/seg	2.07

Fuente: elaboración propia (2016)

Tabla 9 Medición de caudal mínimo en el canal unificador

CANAL DE UNIFICACIÓN (Método del Flotador)	
Horario de Caudal mínimo 12:30-2:30p.m.	
Hora	2:20 p.m.
distancia (m)	2 m
Tiempo	15.55 s
	18.34 s
	17.05 s
Tiempo prom	16.98 s
Velocidad	0.12 m/s
Ancho canal	0.48 m
Tirante	0.06 m
A trans	0.03 m ²
caudal	0.0034 m ³ /s
caudal	3.392 lts/seg

Fuente: elaboración propia (2016)

En las tablas 10 y 11 se muestran los cálculos para obtener el caudal máximo en la entrada y salida del filtro percolador.

Tabla 10 Medición de caudal mínimo en la caja de registro previo a que el agua residual llegue a los ramales del filtro percolador

CAJA DE REGISTRO (Método Volumétrico)	
Horario de Caudal máximo 11:00 - 11:45 a.m.	
Hora	11:00 a.m.
largo	290 cm
ancho	70 cm
Prof	30 cm
	609000 cm ³
	0.609 m ³
	609.00 lts
tiempo	1.27 min
	76.00 seg
caudal max	8.01 lts/seg

tiempo prom	
1.22	m
1.25	m
1.33	m
1.27	m

Fuente: elaboración propia (2016)

Tabla 11 Medición de caudal mínimo en el canal unificador

CANAL DE UNIFICACIÓN (Método del Flotador)	
Horario de Caudal máximo 11:00 - 11:45 a.m.	
Hora	11:20pm
distancia (m)	2 m
Tiempo	14.06 s
	13.5 s
	14.4 s
Tiempo prom	13.987 s
Velocidad	0.14 m/s
Ancho canal	0.48 m
Tirante	0.11 m
A trans	0.05 m²
caudal	0.0076 m ³ /s
caudal	7.550 lts/seg

Fuente: elaboración propia (2016)

Luego de la medición de caudal, se verificaron que los datos de la memoria de diseño del filtro percolador, fueran cumplidos y estuvieran plasmados físicamente en campo.

De acuerdo con la información disponible en la memoria de diseño hidráulico del filtro percolador de la PTAR, se debe de considerar lo siguiente:

- El ancho del filtro percolador debe de tener 9 metros, el cual si es cumplido.
- El largo del filtro percolador debe de tener 18 metros, el cual si es cumplido.
- El diámetro de tubería de distribución que debe de tener 2", el cual si es cumplido.
- El diámetro de los orificios en los ramales o tubos de hierro galvanizado deben de ser de 1/8", los cuales en campo tienen 1/4".
- Según los planos del filtro percolador, los 6 ramales deben de estar distribuidos a una misma medida, lo cual no se cumple.
- La cantidad de distribuidores de caudal deben de ser 2 por unidad, el cual si es cumplido.
- La cantidad de ramales o tuberías deben de ser 6, lo cual si es cumplido.
- Los orificios por cada ramal deberían de ser 15, lo cual en campo se constató que existen 27 por cada ramal.

4.4.1 Toma de Muestras

Para el método de muestreo del agua residual de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, se realizó el siguiente procedimiento.

Se llevó un recipiente plástico de 1 galón esterilizado (de preferencia proporcionado por el laboratorio contratado), éste con la finalidad de poder transportar la muestra para el análisis fisicoquímico.

Al tomar la muestra, se llevó al laboratorio lo más pronto posible, si es un tiempo mayor a 3 horas se debe de llevar una hielera para conservar la muestra a una temperatura de alrededor a los 4°C.

Figura 18 Toma de Muestra en canal de unificación del filtro percolador de la PTAR, de la URL, Campus Central



Fuente: elaboración propia (2016)

Es importante considerar siempre la utilización del equipo de bioseguridad para evitar cualquier inconveniente dentro de las instalaciones de las PTAR. Este equipo consta de: Lentes de protección, guantes de hule, bata de laboratorio, zapatos punta de acero y cualquier otro mecanismo que asegure la protección personal.

Figura 19 Equipo de bioseguridad



Fuente: elaboración propia (2016)

4.4.2 Pruebas de laboratorio

Las pruebas de laboratorio se efectuaron en UNEPAR (Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales de la Colonia La Verbena) que es una dependencia del Instituto de fomento Municipal INFOM.

Se entrevistó al ingeniero químico Jorge Mario Estrada, Director del Laboratorio de Aguas en UNEPAR con maestría en ingeniería sanitaria. Se habló respecto al tema de los filtros percoladores de la PTAR de la URL. Con la información obtenida se determinó la realización de un análisis fisicoquímico. Este análisis incluye 10 parámetros los cuales se comparan con el Reglamento 236-2006 para verificar su cumplimiento.

Estos 10 parámetros son los siguientes:

1. DBO₅
2. DQO
3. Fósforo total
4. Nitrógeno total
5. Color
6. Sólidos en suspensión
7. Grasas y aceites
8. pH
9. Temperatura
10. Materia flotante

Con base a los resultados en el estudio especial de la Ingeniera Clara Recinos y el Ingeniero Edgar Lemus, se determinó la eficiencia del sistema en cuanto a la depuración de DQO y DBO₅ al ingreso y salida del sistema.

4.4.3 Propuesta de mejora del filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central

Se tomaron mediciones del área de mojado debajo de cada uno de los tubos perforados del filtro percolador para determinar un porcentaje de área mojada en todo el lecho filtrante.

Figura 20 Medición de área de mojado del filtro percolador de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central



Fuente: elaboración propia (2016)

A continuación se calculó el área de mojado de cada ramal para obtener un área total de mojado. Este se comparará con el área actual del filtro percolador para determinar el porcentaje de área mojada.

Tabla 12 Determinación del área de mojado del filtro percolador actualmente

ÁREA DE MOJADO DEL FILTRO PERCOLADOR			
Ramal	Ancho (m)	Largo (m)	Área
1	1.3	9	11.7 m ²
2	1.45	9	13.05 m ²
3	0.75	9	6.75 m ²
4	0.9	9	8.1 m ²
5	0.65	9	5.85 m ²
6	0.85	9	7.65 m ²
Promedio	0.983	Total	53.1 m²

ÁREA DEL FILTRO PERCOLADOR	
largo	18 m
ancho	9 m
A total	162 m²

PORCENTAJE DE MOJADO EN EL FILTRO PERCOLADOR	
Amojada	53.1 m ²
Afiltro	162 m ²
	32.78%

Fuente: elaboración propia (2016)

V. RESULTADOS

- El caudal en la caja de registro previo a que el agua residual llegue a los ramales del filtro percolador son: 4.90lts/seg el horario de caudal mínimo y 8.01lts/seg en el horario de caudal máximo.
- El caudal en el canal unificador a la salida del filtro percolador fue de 3.392lts/seg en el horario de caudal mínimo y 7.50lts/seg en el horario de caudal máximo.
- Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el Laboratorio De Agua del Instituto de Fomento Municipal INFOM son los siguientes:

Tabla 13 Resultados de las Pruebas Físicoquímicas de Laboratorio realizadas en el Laboratorio de Agua del Instituto de Fomento Municipal INFOM

RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO ANALISIS FISICOQUIMICO			
ITEM	PARAMETROS FISICOQUIMICOS	UNIDADES	RESULTADO
1	Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg/L DBO ₅	180
2	Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L DQO	420
3	Fósforo Total	mg/L P	10
4	Nitrógeno Total	mg/L N	96
5	Color	Unidades Pt-Co	400
6	Sólidos en Suspensión	mg/L	130
7	Grasas y Aceites	mg/L	2
8	pH	Unidades pH	7.2
9	Temperatura	°C	18
10	Materia Flotante	Presente/Ausente	Ausente

Fuente: elaboración propia (2016)

- La calidad del agua actual del efluente en el filtro percolador si se encuentra dentro de los parámetros que establece el Acuerdo Gubernativo No.236-2006.
- El área de mojado actual en el lecho filtrante del filtro percolador analizado es de 53.1m², lo cual equivale al 32.78%.
- La solución del sistema de aspersion del agua residual radica en el cambio de los ramales actuales, por unos que cumplan las especificaciones de diseño. La operación de los filtros debe cambiar, ya que se deben de manipular las 2 válvulas de caudal por separado y no simultáneamente como se ejecuta en la actualidad. La limpieza es un factor que se debe de verificar para que no existan taponamientos en la tubería.
- Se comprobó en campo la solución propuesta del sistema de aspersion del afluente y se obtuvo logró un área de mojado de 117.9m², equivalente al 72.78%.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Análisis de calidad del agua:

En el artículo 19 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 se establece que al finalizar las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas, la cantidad debe de ser de 3000 kg/día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor a 200 mg/l de DBO. Con esta información se puede observar que el valor de descarga actualmente es de 180 mg/l de DBO, cumpliendo con los estándares de este Reglamento.

Para determinar la biodegradabilidad del agua residual se utiliza la relación DBO5/DQO, es decir que indica qué tan contaminante se encuentra el agua residual.

$$\frac{DBO5}{DQO} = \frac{180 \text{ mg/l}}{420 \text{ mg/l}} = 0.4286$$

Al ser la relación menor a 2.5, son compuestos biodegradables, donde se puede utilizar sistemas biológicos para el trato de las aguas residuales, como es el caso en la PTAR de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.

Cuando la relación DBO5/DQO oscila entre 0.3 y 0.8 las aguas residuales no tratadas provienen de instalaciones no especiales. Si la relación es menor a 0.3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o requerir de microorganismos aclimatados para su estabilización.

En el estudio especial de ERIS desarrollado por la Ingeniera Clara Recinos en conjunto con el Ingeniero Edgar Lemus, tabla 6 del presente trabajo, se pudo observar que la eficiencia en la remoción de DBO5 y DQO ha disminuido constantemente conforme ha transcurrido el tiempo de operación en la planta. Esto se puede mejorar al tener una operación y mantenimiento adecuados. También se puede observar en esa tabla la relación DBO/DQO, determinando que el tipo de tecnología es adecuada, ya que las aguas residuales tratadas en el sistema son de origen orgánico y se pueden tratar biológicamente.

Tabla 14 Tabla de los límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁸	< 1x10 ⁶	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006 (2006)

Al comparar la tabla 13 y 14 se puede observar que los niveles de fósforo total se encuentran en un límite apto hasta el año 2024, mientras que el nitrógeno total solo cumple los requisitos para el año 2011.

El color se encuentra en el límite correcto hasta el año 2024.

Los sólidos suspendidos se encuentran en el límite correcto hasta el año 2020, mientras que las grasas y aceites no representan ningún inconveniente en los límites del 2024.

El potencial de hidrógeno se encuentra en un rango neutro cumpliendo con los límites del reglamento 236-2006 y no se encuentra presencia de materia flotante en el agua residual.

La temperatura representa el rango promedio en la ciudad de Guatemala.

De los análisis de laboratorio desarrollados por la Ingeniera Clara Recinos en conjunto con el Ingeniero Edgar Lemus durante el año 2014, se pudo determinar que si se cumple con el Acuerdo Gubernativo 236-2006, sin embargo, también se encuentra una deficiencia en el parámetro de nitrógeno total a la salida del sedimentador secundario. Con este resultado se puede demostrar que realizando análisis de laboratorio de la calidad del agua en 2 laboratorios distintos, se llegó a la misma conclusión con respecto al parámetro del nitrógeno total.

Hay que recordar que después del tratamiento secundario, prosigue el digestor para los lodos y el tratamiento terciario, el cual es la desinfección del agua residual, antes de ser desechada al cuerpo receptor que es el río Contreras. En estas etapas aún se mejora la calidad del agua, por lo que se puede deducir que la planta de tratamiento de aguas residuales si está cumpliendo con los requisitos de descargas a cuerpos receptores del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

De acuerdo con el estudio especial de la Ingeniera Clara Recinos y el Ingeniero Edgar Lemus, se determinó la carga hidráulica y orgánica en el filtro percolador de la PTAR de la URL. La carga hidráulica cumple con el rango de diseño, entre 1.2-3.5 m³/m²/día y la carga orgánica promedio con la que se encuentra trabajando el filtro esta entre 0.08-0.40 kgDBO₅/m³/día cumpliendo con parámetros de diseño del filtro percolador.

6.2 Área de mojado actual en el filtro percolador:

El área de mojado actual en el filtro percolador de la PTAR de la URL, Campus Central es de 53.1m² que equivale a 32.78% del área total. Esto quiere decir, que únicamente la tercera parte del área está siendo humedecido mientras que el área restante carece de funcionalidad. Al considerar el área total de ambos filtros percoladores, el área de mojado sería únicamente del 16.39%, ya que no se utilizan los 2 al mismo tiempo.

En campo se alternaron las válvulas de caudal para que la cantidad de agua aumentara en los ramales. De esta manera el área de mojado aumentó saliendo mayor cantidad de agua por los agujeros de los tubos. El sistema de aspersion del afluyente aumentó y se obtuvo un área de mojado de 117.9m², equivalente al 72.78%. Esto quiere decir que se mejoró el efecto cascada y el agua residual humedece mayor cantidad de área en el lecho filtrante del filtro percolador analizado.

A pesar de que el área de aspersion es ineficiente, la calidad del agua se encuentra en los parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006. Únicamente el nitrógeno total cumplió el rango para el año 2011, pero hacen falta los procesos

posteriores que son el sedimentador secundario, desinfección y tratamiento de lodos para disminuir el valor determinado en la prueba de laboratorio.

La PTAR fue diseñada para que en el año 2039 tenga la capacidad de tratar un caudal promedio de 12.85lts/seg. Eso quiere decir que cada unidad de tratamiento está diseñada para tratar un caudal medio de 6.43lts/seg. Los caudales máximos y mínimos para cada unidad o línea de conducción son 13.44lts/seg y 3.36 lts/seg respectivamente. Estos datos son determinados según el informe final del sistema de tratamiento de agua residual del Campus Central de la URL, elaborado por el Ing. Félix Aguilar, diseñador de la PTAR.

Se determinó el caudal actual en la entrada del filtro percolador, ejecutado por medio del método volumétrico. El caudal en la caja de registro previo al ingreso hacia los ramales del filtro percolador en el horario de caudal máximo (11:00-11:45a.m.), fue de 8.01lts/seg. El caudal mínimo (12:30-2:30p.m.), fue de 4.90lts/seg.

Se determinó el caudal actual en la salida del filtro percolador, ejecutado por medio del método del flotador. El caudal en el canal unificador previo al ingreso hacia el sedimentador secundario, en el horario de caudal máximo fue de 7.50lts/seg. El caudal mínimo fue de 3.392lts/seg.

El caudal medio actualmente en la PTAR es de 4.64lts/seg, tomado del informe final del sistema de tratamiento de agua residual del Campus Central de la URL, por el Ing. Félix Aguilar. Esto quiere decir que cada unidad de tratamiento tiene un caudal medio de 2.32 lts/seg siendo una cantidad muy baja con respecto al esperado para el 2030, esto produce que los parámetros bajo los cuales se diseñó la PTAR sean distintos a los actuales en operación.

6.3 Solución de la aspersion del agua residual en el lecho filtrante del filtro percolador:

Se realizó una entrevista al Ing. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera, diseñador de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. En esta charla se pudo platicar acerca de la problemática de las áreas muertas de los filtros percoladores, en donde el agua residual no alcanzaba a humedecer gran parte del lecho filtrante en el mismo. En este punto se discutió acerca de la operación de estos filtros, es decir, del funcionamiento que se estaba ejerciendo actualmente.

De esta manera, se pudo concluir que no hay una buena operación de los filtros percoladores, ya que actualmente están las 2 válvulas de caudal abiertas al

mismo tiempo. Esto provoca que los dos distribuidores de caudal hacia el filtro trabajen simultáneamente. Indudablemente esto ocasiona que la presión sea menor, siendo la aspersion y el efecto cascada afectados en su proceso de aireación al agua residual de la planta de tratamiento.

Figura 21 Utilización de los 6 ramales al mismo tiempo



Fuente: elaboración propia (2016)

Otro problema es que los tubos perforados, según el diseño hidráulico elaborado por el Ing. Félix Aguilar, tenían 15 agujeros por cada ramal o tubo. Actualmente, hay 27 agujeros en cada tubo y esto también repercute a la presión del agua residual y poca aireación tipo cascada. Tampoco se cumple con el diámetro de los orificios en los ramales, ya que actualmente tienen un diámetro de 1/4", siendo en el diseño de 1/8". Esto también provoca una disminución en la presión para provocar la aspersion. De igual manera, la tubería perforada no está colocada conforme al diseño, ya que estos ramales no están distribuidos simétricamente a lo largo del área del filtro.

6.4 Comprobar en campo la solución del sistema de aspersión del afluente y compararla con la actual que posee el filtro percolador:

Posteriormente a la charla, se procedió en campo a realizar la descarga del agua residual de la manera diseñada para comparar con el proceso actual. Se obtuvo lo siguiente:

Tabla 15 Determinación área de mojado del filtro percolador alternando las válvulas reguladoras de caudal

ÁREA DE MOJADO DEL FILTRO PERCOLADOR				
Ramal	Ancho (m)	Largo (m)	Área	
1	3.25	9	29.25	m ²
2	3.25	9	29.25	m ²
3	1.7	9	15.3	m ²
4	1.7	9	15.3	m ²
5	1.6	9	14.4	m ²
6	1.6	9	14.4	m ²
Promedio	2.183	Total	117.9	m²

ÁREA DEL FILTRO PERCOLADOR		
largo	18	m
ancho	9	m
A total	162	m²

PORCENTAJE DE MOJADO EN EL FILTRO PERCOLADOR		
Amojada	117.9	m ²
Afiltro	162	m ²
	72.78%	

Fuente: elaboración propia (2016)

Es notoria la diferencia al tener una buena operación de los filtros percoladores. En las figuras 22 y 23 se puede observar que el área de mojado es mayor, ya que al cerrar una de las válvulas reguladoras de caudal, el agua residual no es compartida en los otros tres ramales provocando mayor presión y también un efecto tipo cascada mayor. Siempre se debe de tomar en cuenta el mantenimiento para que el agua residual salga por todos los agujeros del tubo.

Es importante contemplar mayor tiempo de monitoreo del área de mojado y de esta manera poder tener un mejor control de operación acerca de la alternación de las válvulas reguladoras de caudal, ya que dependiendo de la época del año, existen cambios drásticos en el caudal de ingreso a la PTAR.

Figura 22 Mayor aspersion alternando las válvulas reguladoras de caudal



Fuente: elaboración propia (2016)

Figura 23 Antes (derecha) y después (izquierdo) de alternar las válvulas reguladoras de caudal



Fuente: elaboración propia (2016)

Los tubos perforados actuales deben de ser sustituidos por otros que contengan la información de diseño, es decir, que cada tubo contenga únicamente 15 agujeros y que cada agujero tenga un diámetro de 1/8". También se deben de distribuir de manera simétrica los 6 ramales en el área del filtro percolador.

Se podría aumentar aún más su eficiencia si se realizara el mantenimiento adecuado a la tubería. Los operadores de la PTAR comentaron que no se les ha hecho limpieza a las líneas de conducción, es por ello que hay desfases en el caudal y no se trabaja adecuadamente los procesos de la PTAR. Siempre es necesario verificar que no existan taponamientos. De ser necesario, verter un gran volumen de agua simultáneamente aguas arriba o recurrir a un camión cisterna para bombear al interior del sistema.

Las pendientes de estos tubos de conducción, a simple vista son notorias que no están instaladas adecuadamente y no cumple con los requisitos de diseño. Es por ello que se debe de verificar que la tubería quede bien alineada y soportada para no afectar el curso del agua residual.

Para evitar las moscas que hay actualmente cercanas a los filtros percoladores, se debe de colocar en la parte superior una cubierta de sarán. De igual forma, cambiar el sistema de operación en los ramales, es decir, intercalarlos para que exista mayor presión y el área de mojado en el lecho filtrante del filtro percolador, sea mayor.

VII. CUADRO DE RESUMEN DE LA PROPUESTA SEGÚN PRIORIZACIÓN Y GASTOS FINANCIEROS

Tabla 16 Cuadro de Resumen de la Propuesta según Priorización y gastos financieros

Propuestas de mejoras sin incurrir a gastos financieros		
Actividad	Propuesta	Impacto
Se utilizan las 2 válvulas reguladoras de caudal al mismo tiempo para humedecer el lecho filtrante de piedra volcánica en los filtros percoladores.	Alternar las válvulas reguladoras de caudal en los filtros percoladores.	El agua residual saldrá con mayor presión en los tubos perforados aumentando el efecto tipo cascada y humedeciendo mayor área superficial del filtro percolador para su correcto funcionamiento.
Se utiliza un filtro cada 6 meses.	Utilizar las 2 líneas de tratamiento de aguas residuales en paralelo.	Al dejar tanto tiempo sin utilizar cada línea de tratamiento impacta en el tratamiento biológico, ya que las bacterias se tienen que volver a estabilizar para comenzar su trabajo de depuración de las aguas residuales.
Trabajos de responsabilidad social dentro del Campus Central.	Realizar proyectos de responsabilidad social con estudiantes de diferentes ramas de ingeniería e incluso de otras carreras.	Trabajos de responsabilidad social en conjunto ayudarán a desarrollar conciencia ambiental con los valores que inculca la URL. Se podrán realizar trabajos en equipo para poder innovar procesos, realizar capacitaciones a los operadores y poner en práctica los conocimientos teóricos aprendidos. Documentar los trabajos ejecutados.
Manual de operación y mantenimiento	Retroalimentar el manual de operación y mantenimiento para que esté al alcance de los usuarios.	Plasmar en el manual de operación y mantenimiento las funciones de cada proceso de la PTAR de forma explícita, para que los operadores, estudiantes y visitantes puedan tener conocimiento de las actividades que se realizan a diario dentro de la PTAR.

Propuestas de mejoras sin incurrir a gastos financieros significativos		
Actividad	Propuesta	Impacto
Fugas de la tubería	<p>Se deben de arreglar las fugas determinadas en campo, por ejemplo: en la caja de registro, previo a que el agua residual se conduzca hacia el filtro percolador que está operando actualmente, hay una fuga visible.</p> 	<p>Se evitará la fuga de agua residual por el tubo de conducción, además que se eliminará un elemento visual que es sencillo de tratar y mejorará el proceso de conducción del agua residual hacia los tubos perforados en el filtro percolador.</p> <p>Se debe de buscar minuciosamente con la finalidad de detectar otras fugas y enmendarlas para no dañar la integridad de las instalaciones de la PTAR.</p>
Pendientes de la tubería	<p>Arreglar las pendientes de los tubos de conducción para que cumplan con los requisitos de diseño. Por ejemplo: el tubo de distribución, en la entrada al primer ramal del filtro percolador evaluado.</p> 	<p>Se facilitará el curso del agua residual por las líneas de conducción en las tuberías.</p> <p>Se debe de buscar minuciosamente con la finalidad de corroborar que las pendientes de los tubos sean las idóneas, para no alterar el curso del agua residual y se pueda realizar cada componente de la PTAR con mayor eficiencia.</p>

<p>Cada ramal actualmente tiene 27 agujeros para rociar el agua residual. Los agujeros tienen un diámetro de 1/4". Los ramales se encuentran distribuidos de manera desproporcionada</p>	<p>Cumplir con las especificaciones de diseño. Es decir que cada ramal debe de tener únicamente 15 agujeros con un diámetro de 1/8" cada uno. Los ramales se deben de distribuir de manera simétrica a lo largo del área superficial del filtro.</p>	<p>Se plasma físicamente lo que indica el diseño hidráulico del filtro percolador. Esto con la finalidad de mejorar el sistema de aspersion y poder distribuir de manera homogénea el agua residual en el lecho filtrante del filtro percolador. De esta manera, se desarrollará una capa biológica eficiente que ayude a mejorar la calidad del agua en la PTAR.</p>
<p>Los filtros percoladores se encuentran descubiertos, es decir, a la intemperie</p>	<p>Colocar una cubierta de sarán de sombra (50% de sombra). Sujetar todo el perímetro de la unidad con tubería PVC de 2" y columnas con tubería del mismo diámetro, según el informe final del Ing. Félix Aguilar.</p>	<p>Por el tipo de tecnología implementada, hay proliferación de moscas las cuales pueden afectar a los operadores, estudiantes y visitantes a la PTAR. Colocando la cubierta de sarán propuesta, se mitigará esta problemática. Esta cubierta debe de ser fácilmente removible para que los operadores realicen los trabajos de mantenimiento diarios sin excepción.</p>

Fuente: elaboración propia (2017)

VIII. CONCLUSIONES

- Se evaluó la calidad del agua residual para un solo filtro percolador mediante un análisis fisicoquímico y se constató que la calidad del agua es eficiente, pero el sistema de aspersión no está trabajando correctamente, sin embargo, al mejorar la operación y mantenimiento de los filtros, el sistema de aspersores trabajará de manera adecuada.
- Se determinó la calidad del agua actual en el efluente del filtro percolador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la URL, Campus Central, constatando que los parámetros cumplen con los rangos del Reglamento 236-2006 acerca de la descarga a cuerpos receptores para el año 2024, exceptuando el parámetro de nitrógeno total que únicamente cumple los requisitos para el año 2011.
- El área de mojado actual del filtro percolador analizado, es de 32.78%, es decir que de 162m² que equivalen al 100% del área del primer filtro percolador, únicamente 53.1m² son humedecidos. El caudal máximo y mínimo determinados en campo en la entrada al filtro percolador fueron 8.01lts/seg y 4.90lts/seg respectivamente. El caudal máximo y mínimo determinados en la salida del filtro percolador fueron 7.50lts/seg y 3.392lts/seg respectivamente. Al mejorar la operación y mantenimiento en el filtro percolador, el caudal aumentará en los ramales mejorando la aspersión y por ende, el área de mojado incrementará.
- La propuesta de mejora en el sistema de aspersión en los filtros percoladores de la PTAR de la URL, Campus Central, es cambiar los ramales actuales para que cumplan con la especificaciones de diseño, es decir que cada ramal cuente con 15 agujeros, que el diámetro de éstos sea de 1/8" y que la tubería esté separada simétricamente a lo largo del área superficial del filtro. También se debe de mejorar la operación que se utiliza actualmente, intercalando las válvulas de caudal, para aumentar la presión del agua en los ramales reduciendo las áreas muertas en el lecho filtrante que no se humedecen en el presente.
- El área de mojado actual en los filtros percoladores de la PTAR de la URL, Campus Central es de 53.1m² que equivale a 32.78% del área total y corrigiendo en campo el sistema de operación, es decir, intercalando las válvulas de distribución de caudal hacia los ramales, se logró un área de mojado de 117.9m², equivalente al 72.78%.

IX. RECOMENDACIONES

- Realizar capacitaciones constantes de temas de operación y mantenimiento a los operadores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.
- Cumplir con el Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional del Ministerio de trabajo y Prevención Social para los trabajadores de la PTAR de la URL, Campus Central.
- Implementar un laboratorio de aguas residuales con los equipos ya existentes en los laboratorios de la URL, para que los estudiantes tengan dentro de la casa de estudios una unidad para aprender y retroalimentar conocimiento adquiridos durante los diferentes cursos. Para validar estos resultados con finalidad de certificación, se deberá de contar con la opinión de un laboratorio independiente al de la URL. Además, estas instalaciones tendrían funcionalidad para la facultad de Ingeniería y otras carreras dentro del campus.
- Involucrar a los estudiantes de Ingeniería para tener una mejora continua en la operación y mantenimiento durante los cursos profesionales de prácticas reales. Documentar estas acciones.
- Utilizar las dos líneas de conducción en paralelo conforme el diseño.
- Si los problemas de mantenimiento en los ramales perforados del filtro percolador persisten, según el diseñador Ing. Félix Aguilar, es factible implementar a futuro un sistema de canales abiertos para que el mantenimiento del sistema se torne más sencillo y se garantice su ejecución. La forma de verter el agua al lecho filtrante sería colocando vertederos a lo largo de todo el canal para su dispersión homogénea sobre el lecho filtrante de piedra volcánica.
- Evaluar eficiencias y proponer mejoras técnicas que sean necesarias a cada uno de los procesos de la PTAR de la URL, Campus Central con los estudiantes que quieran hacer sus tesis de grado de carreras relacionadas con el tema.

X. REFERENCIAS

Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición final.

Aguilar Carrera, F.A.D. (2008) *Sistema de tratamiento de Agua Residual del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar, Guatemala, Ciudad*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Campus Central.

American Water Works Association. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th edition. EUA. 2002.

Camarero, P. (2009). *Evaluación de Tres Dosis de “Microorganismos Eficientes” en el Tratamiento de Aguas residuales Domésticas que Llegan a la Planta de Tratamiento Villalobos 1*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

Director Nacional, (2013). *Diseño de Plantas Potabilizadoras*. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

Galvis, G. (1999). *Filtración en Múltiples Etapas*. Colombia: Universidad del Valle Ciénaga, Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del recurso hídrico.

Lavagnino, H. (2016). *Eficiencia en la Remoción de Contaminantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

Oakley, S. (2011). *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica. Un Manual de Experiencias, Diseños, Operación y Sostenibilidad*. Santiago de Chile, Chile: USAID y CCAD.

Pierri, I. (2013). *Eficiencia en la Remoción de Nitrógeno y Fósforo en los Filtros Percoladores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Planta de*

Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
Guatemala: USAC.

Ramírez, O. (2012). *Investigación de la Eficiencia de las Etapas en Serie del Filtro Percolador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad de San Carlos.* Guatemala: USAC.

Recinos, C. (2010). *Guía para el Muestreo y Determinación de Pruebas de Laboratorio de la Planta-Escuela de Tratamiento de Agua Residual del Campus Central, Universidad Rafael Landívar.* Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

Recinos, C. (2015). *Evaluación del Funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar para el Reúso en Riego del Agua Tratada como Tratamiento Terciario para la Remoción de Nutrientes.* Guatemala: USAC.

Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana UTEHA. (1968). *Agua, su Calidad y tratamiento.* Estados Unidos: American Water Works Association.

XII. ANEXOS

12.1 Memoria de Cálculo del Filtro Percolador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central



Tabla 12 “Memoria de diseño hidráulico filtro percolador, planta de tratamiento”

Se muestran los parámetros de diseño utilizados para el dimensionamiento hidráulico del filtro percolador de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad Rafael Landívar”

CAUDALES TOTALES	
Caudal máximo	2322.432 m ³ /día
Caudal promedio	1110.24 m ³ /día
Caudal mínimo	580.608 m ³ /día
Número de módulos	2 unidades

DATOS	
DBO agua residual a tratar	134 mg/l
DBO deseada a la salida del filtro	29 mg/l
Numero de unidades por módulo	1 unidad
Profundidad del filtro	1.5 mts.
Relación Largo ancho	2
Relación de recirculación	1
Caudal máximo	1161.216 m ³ /día
Caudal promedio	555.12 m ³ /día
Caudal mínimo	290.304 m ³ /día
Caudal de dosificación de acuerdo a Carga	73 mm/paso
Separación de tuberías de distribución	1.5 m
Separación de orificios	1.2 m
Numero de dosificaciones por día	2
Numero de distribuidores principales	2
Diametro de los orificios de descarga	3.175 mm
Carga en el último orificio	0.3 m
Coefficiente de Hazen para ramal	100
Diametro interno de la tubería del ramal	50.8 mm

CALCULO	
Eficiencia conjunta	78.36
Factor de recirculación	1.65
Carga de DBO en el filtro	156 kg DBO/d
Volumen del medio filtrante	242.74 m ³
Area superficial	161.83 m ²
Area de cada unidad	161.83 m ²
Ancho de cada unidad	9 ml.
Largo de cada unidad	18 ml.
Estimación de carga de DBO a Q max.	0.64 kg/m ³ .08-40
Estimación de carga de DBO a Q prom.	0.306 kg/m ³
Estimación de carga de DBO a Q min.	0.16 kg/m ³
Estimación de carga hidráulica a Q max.	7.18 m ³ /m ² /día 1.20-3.50
Estimación de carga hidráulica a Q prom.	3.43 m ³ /m ² /día
Estimación de carga hidráulica a Q min.	1.79 m ³ /m ² /día

Características de filtros percoladores	
Medio filtrante	Piedra, escoria
Carga Hidráulica	1.20-3.50 m ³ /m ² /día
Carga orgánica	0.08-0.40 kg DBO/m ³ /día
Profundidad	1.80-2.40 mts.
Relación de recirculación	0
Moscas en el filtro	Abundantes
Arrastre de sólidos	Intermitente
Eficiencia de eliminación de la DBO	8-90 %
Efluente	Bien Nitrificado

*Metcalf y Eddy

Caudales de dosificación típicos de Filtros Percoladores

Carga Orgánica Kg/m ³ /día	Dosificación mm/paso
<0.4	73
0.8	150
1.2	225
1.6	300
2.4	450
3.2	600

Características del medio filtrante		
Especificación	Grava pequeña	Grava Grande
Tamaño nominal mm.	25-62.5	100-125
Masa por unidad de Volumen (kg/m ³)	1250-1440	800-990
Superficie específica m ² /m ³	55-69	30-164
Porcentaje de huecos	40-50	50-60

Sistema de distribución		
Carga Orgánica	0.13 kg/m3/día	
Número de ramales totales	8 unidades	
Orificios por ramal	15 unidades	
Caudal descargado por dosis	277.56 m3/día/dosis	
Número de ramales por distribuidor	3 unidades	
Descarga en cada ramal	92520 lts./ramal*dosis	
Caudal que llega al último orificio	22.30775352 lts./min.	
Caudal suministrado a cada ramal	334.6183028 lts./min.	
Perdida de carga en la conducción	6.95677E-05 mts.	
Perdida de carga real en tubería de distribución	2.31892E-05 mts.	
Carga sobre el primer orificio	0.300023189 mts.	
Calculo de valor m	0.999981354 mts.	correcto
Volumen de agua por dosificación	160.6158253 m3	no volumen
Horas de cada dosificación	12 horas	
Caudal por ramal	1.24 l/seg.	

RESUMEN DE RESULTADOS	
Numero de unidades	1 unidad
Ancho de cada unidad	9 metros
Largo de cada unidad	18 metros
Diametro tubería de distribución	50.8 mm.
Diametro orificios	3.175 mm.
Número de dosificación	2 por día
Horas de cada dosificac	12
Numero de distribuidore	2 por unidad
Numero de ramales tot:	8 unidad
Ramales por distribuido	3 unidad
Caudal por ramal	1.24 l/seg.
Orificios por ramal	15 unidad
Carga hidráulica neces:	0.300023189 metros

Fuente:(IAG CONSULTORIA, 2008)

12.2 Informe Final acerca de los Filtros Percoladores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central



FILTRO PERCOLADOR

En esta unidad se lleva a cabo el tratamiento secundario de las aguas residuales siendo del tipo biológico aeróbico. El tratamiento consiste básicamente en hacer pasar el agua a través de un lecho biológico filtrante en el cual se formará una película biológica alrededor de cada uno de los componentes del medio filtrante, esta capa es la responsable del proceso biológico, ya que es ahí donde habitan una infinidad de microorganismos que utilizan la materia orgánica de las aguas residuales para efectuar sus procesos de síntesis.

El medio filtrante a utilizar es de piedra, la cual deberá de tener las siguientes características:

- Tamaño nominal promedio de 100 mm.
- Masa por unidad de volumen 800 kg/m³
- Superficie específica 60 m²/m³
- Porcentaje de huecos 40%



La unidad contempla un falso fondo, el cual se dejará simplemente apoyado en las vigas de soporte de la losa de fondo de la unidad. Cada una de estas losas contendrá perforaciones que permitirán el paso del agua residual a los canales que se forman por debajo de estas losas. Por encima de las losas se colocará el medio filtrante, el cual consiste en piedra volcánica de diámetro mínimo de 2 ½" pulgadas a un máximo de 4".

Se deberá de verificar la adecuada instalación del sistema de ventilación del medio filtrante, el cual consiste en tubería de PVC de 4" que conecta el falso fondo a la parte superior del filtro, dado que ello evitará la proliferación de malos olores en el medio filtrante.

El sistema de distribución del agua residual sobre el medio filtrante, se realizará a través de un sistema de tuberías de hierro galvanizado perforado. Cada filtro posee dos redes de distribución, cuya finalidad es la de poder intercalar su operación. Se debe verificar que la tubería quede bien alineada y soportada. Al final de cada ramal de distribución, se deberá dejar un tapón hembra roscado para facilitar la limpieza de cada ramal, asimismo contemplar que cada ramal debe ser fácilmente retirado para poder limpiarlo.

Para evitar la proliferación de moscas, se deberá de colocar en la parte superior del filtro, una cubierta de sarán de sombra (50% de sombra), este será sujetado en todo el perímetro de la unidad con tubería PVC de 2" y columnas con tubería del mismo diámetro.

Toda la unidad deberá de alisarse con cemento para facilitar su operación.

12.3 Resultados del Análisis Físicoquímico de Aguas Residuales en la salida del Filtro Percolador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central



INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL -INFOM-

LABORATORIO DE AGUA

11 Avenida "A" 11-67, zona 7, La Verbena, Guatemala

Teléfono/fax: 2472-3499

laboratorioinfom@gmail.com

www.infom.gob.gt



INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES MUESTRA No.2792-16

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA ⁽¹⁾

Interesado:	RICARDO ANTONIO DE LEÓN PREM / CONSTRUCTORA DE LEÓN MALOUF Y MORATAYA, S.A.		
Punto de muestreo:	Canal de unificación de descarga del filtro		
Fuente:	Planta de tratamiento de aguas residuales de URL	pH <i>in situ</i> (unidades):	----
Municipio:	Guatemala	Temperatura <i>in situ</i> (°C):	----
Departamento:	Guatemala	Técnica de preservación:	Refrigeración
Fecha de captación:	21-noviembre-2016	Fecha de recepción:	21-noviembre-2016
Hora de captación:	12:20	Hora de recepción:	13:15
Responsable de captación:	Ricardo Antonio de León Prem (Persona ajena al Laboratorio INFOM)		

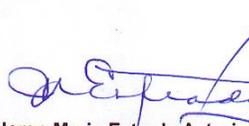
(1) Los datos fueron copiados textualmente de la tarjeta de identificación de la muestra.

RESULTADOS

ITEM	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	UNIDADES	RESULTADO
1	Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg/L DBO ₅	180
2	Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L DQO	420
3	Fósforo total	mg/L P	10
4	Nitrógeno Total	mg/L N	96
5	Color	Unidades Pt-Co	400
6	Sólidos en suspensión	mg/L	130
7	Sustancias extraíbles con hexano (aceites y grasas)	mg/L	2.0
8	pH	Unidades pH	7.2
9	Temperatura	°C	18
10	Materia Flotante	Presente / Ausente	Ausente

OBSERVACIONES

- El responsable de la captación no proporcionó el dato de Temperatura y pH *in situ*, por lo tanto, los resultados de dichos parámetros corresponden a los medidos en el laboratorio.


Jorge Mario Estrada Asturias
 Ingeniero Químico, Colegiado 685
 Director del Laboratorio de Agua



12.4 Manual de Operación y Mantenimiento de los Filtros Percoladores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central

FILTRO PERCOLADOR

Unidad que permite decantar todas las partículas no sedimentables. La unidad se encuentra conformada por un lecho rocoso de piedra volcánica. El agua residual es distribuida en el lecho rocoso por medio de una serie de tuberías perforadas. Estas están ubicadas transversalmente en la parte superior de la unidad. Lo que les permite distribuir el líquido en una forma uniforme, sobre toda la superficie del lecho. Para la recolección del líquido se dispone de una serie de canales instalados en la parte inferior del filtro, los que, simultáneamente, sirven para la ventilación de la unidad, y con ello permitiendo el desarrollo del proceso aeróbico.

Se debe chequear los niveles de agua, que van entrando al filtro. Dichos niveles tienen que ser iguales en cada tubería. Se mide, también, el nivel del agua en cada agujero del segundo canal y debe ser igual en todos. Si no están nivelados, eso significa que hay taponamientos en las tuberías. Para solucionar este problema, basta con subirse al filtro percolador y situarse frente a cada tubo y por medio de un alambre liso de 1/4", se destapan los agujeros que van a ambos lados de cada tubo. Esto se hace en cada tubería que estuviera taponada.

El personal necesario para realizar esta operación será el Operador. El tiempo requerido es de 1 hora, dos veces por día, todos los días.

Se debe observar el nivel del agua sobre la superficie del lecho filtrante. Si está encima de la superficie, se remueve, con una pala, en toda la superficie de la piedra, hasta lograr que la altura del agua baje del nivel al que se ha elevado. Se debe hacer en toda la superficie del filtro. La superficie del filtro debe estar limpia de toda basura o hierva que crezca.

El personal necesario para esta operación será el Operador y la realiza en un tiempo de una hora, una vez al día, cada tres días.

Es sumamente importante que, siempre, en el canal recolector principal, que se localiza a la salida del filtro, se quiten las piedras o la arena que pudieran haberse caído en el lecho filtrante. Constituyendo, así, un punto de obstrucción al paso del agua. Es importante, también, quitar el lodo que pudo haberse depositado en el canal de salida.

Esto lo hace el Operador cada 8 días, aproximadamente en 30 minutos, una vez por día.

Todas las válvulas, para un buen funcionamiento, deberán ser inspeccionadas y si se encontraran deterioradas, habrá que reemplazarlos.

Engrasar las válvulas. Esto se realizará una vez cada mes.

Si una de las tuberías de distribución se encuentra obstruida, retirar el tapón hembra del extremo del tubo y aplicar, con una manguera, agua a presión. Si esto no funciona, cerrar la válvula que alimenta esa sección del tubo y retirarlo de su lugar para efectuar una limpieza a todos los orificios del mismo.

Se debe revisar si las tuberías se encuentran en buen estado, de lo contrario, substituir las piezas deterioradas.

12.5 Pruebas de calidad del agua residual realizadas por la URL, Campus Central, desde febrero del 2016 hasta agosto del 2016

Fecha de Informe	Parámetro	Medición	Ubicación	Tipo de análisis	Informe de Laboratorio	Tipo_Análisis
29-feb-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1.60E+07	Entrada PTAR	Laboratorio	A1001-16 A1002-16	Agua Residual
29-feb-16	DQO (mg/L)	6.53E+02	Salida PTAR		A1001-16 A1002-16	Agua Residual
29-feb-16	DBO (mg/L)	1.52E+02	Salida PTAR		A1001-16 A1002-16	Agua Residual
29-feb-16	Sólidos Sedimentables (mg/L por Hora)	5.00E-01	Salida PTAR		A1001-16 A1002-16	Agua Residual
29-feb-16	Color (U Pt-Co)	7.18E+02	Salida PTAR	Laboratorio	A1001-16 A1002-16	Agua Residual
29-feb-16	Sólidos Sedimentables (mg/L por Hora)	1.50E+00	Entrada PTAR		A1001-16 A1002-16	Agua Residual
29-feb-16	DQO (mg/L)	8.22E+02	Entrada PTAR		A1001-16 A1002-16	Agua Residual
29-feb-16	DBO (mg/L)	2.03E+02	Entrada PTAR		A1001-16 A1002-16	Agua Residual
29-feb-16	Color (U Pt-Co)	1.22E+03	Entrada PTAR	Laboratorio	A1001-16 A1002-16	Agua Residual
29-feb-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1.60E+07	Salida PTAR	Laboratorio	A1001-16 A1002-16	Agua Residual
28-mar-16	Sólidos Sedimentables (mg/L por Hora)	3.00E-01	Salida PTAR		A1003-16 A1004-16	Agua Residual
28-mar-16	DBO (mg/L)	2.17E+02	Salida PTAR		A1003-16 A1004-16	Agua Residual
28-mar-16	DBO (mg/L)	3.07E+02	Entrada PTAR		A1003-16 A1004-16	Agua Residual
28-mar-16	Color (U Pt-Co)	9.37E+02	Entrada PTAR	Laboratorio	A1003-16 A1004-16	Agua Residual
28-mar-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	5.40E+06	Salida PTAR	Laboratorio	A1003-16 A1004-16	Agua Residual
28-mar-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1.60E+07	Entrada PTAR	Laboratorio	A1003-16 A1004-16	Agua Residual
28-mar-16	DQO (mg/L)	5.50E+02	Salida PTAR		A1003-16 A1004-16	Agua Residual
28-mar-16	Sólidos Sedimentables (mg/L por Hora)	4.00E+00	Entrada PTAR		A1003-16 A1004-16	Agua Residual
28-mar-16	DQO (mg/L)	9.85E+02	Entrada PTAR		A1003-16 A1004-16	Agua Residual
28-mar-16	Color (U Pt-Co)	4.54E+02	Salida PTAR	Laboratorio	A1003-16 A1004-16	Agua Residual
20-may-16	Temperatura °C	2.42E+01	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Cianuro (mg/L)	3.00E-02	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Cobre (mg/L)	3.00E-02	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Arsénico (mg/L)	2.00E-03	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Cromo Hexavalente (MG/L)	1.00E-01	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Materia Flotante	0.00E+00	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Mercurio (micro-g/L)	4.00E-03	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Cadmio (mg/L)	2.00E-02	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Fósforo (mg/L)	1.60E-01	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Nitrógeno (mg/L)	1.00E+01	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	DQO (mg/L)	5.20E+01	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	5.50E+01	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	pH	7.13E+00	Salida PTAR	Laboratorio	A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Grasas y Aceites (mg/L)	5.00E+00	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual

Fecha de Informe	Parámetro	Medición	Ubicación	Tipo de análisis	Informe de Laboratorio	Tipo_Análisis
20-may-16	Niquel (mg/L)	5.00E-02	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	DBO (mg/L)	2.90E+01	Salida PTAR	Laboratorio	A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Arsénico (mg/L)	2.00E-03	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Caudal (m3/día)	6.76E+01	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1.60E+07	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Color (U Pt-Co)	5.57E+02	Salida PTAR	Laboratorio	A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Zinc (mg/L)	1.00E-02	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Plomo (mg/L)	5.00E-02	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Mercurio (micro-g/L)	4.00E-03	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Cromo Hexavalente (MG/L)	1.00E-01	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Cobre (mg/L)	3.00E-02	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Cianuro (mg/L)	3.00E-02	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Zinc (mg/L)	1.00E-02	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Carga de DBO (kg/día)	2.23E+00	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Cadmio (mg/L)	2.00E-02	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2.40E+06	Entrada PTAR	Laboratorio	A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Materia Flotante	0.00E+00	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Caudal (m3/día)	6.76E+01	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Niquel (mg/L)	5.00E-02	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Color (U Pt-Co)	8.72E+02	Entrada PTAR	Laboratorio	A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Carga de DBO (kg/día)	1.96E+00	Salida PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Fósforo (mg/L)	1.30E-01	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	7.50E+01	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Grasas y Aceites (mg/L)	5.00E+00	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	pH	7.41E+00	Entrada PTAR	Laboratorio	A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Temperatura °C	2.42E+01	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	DQO (mg/L)	6.20E+01	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	DBO (mg/L)	3.30E+01	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Nitrógeno (mg/L)	1.00E+01	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
20-may-16	Plomo (mg/L)	5.00E-02	Entrada PTAR		A1005-16 A1006-16	Agua Residual
21-may-16	DBO (mg/L)	5.10E+01	Salida PTAR	Laboratorio	A1007-16 A1008-16	Agua Residual
21-may-16	Color (U Pt-Co)	3.80E+02	Salida PTAR	Laboratorio	A1007-16 A1008-16	Agua Residual
21-may-16	DQO (mg/L)	1.14E+02	Salida PTAR		A1007-16 A1008-16	Agua Residual
21-may-16	Sólidos Sedimentables (mg/L por Hora)	5.00E-01	Salida PTAR		A1007-16 A1008-16	Agua Residual
21-may-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1.60E+07	Salida PTAR		A1007-16 A1008-16	Agua Residual
21-may-16	DBO (mg/L)	1.24E+02	Entrada PTAR	Laboratorio	A1007-16 A1008-16	Agua Residual

Fecha de Informe	Parámetro	Medición	Ubicación	Tipo de análisis	Informe de Laboratorio	Tipo_Análisis
21-may-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1.60E+07	Entrada PTAR		A1007-16 A1008-16	Agua Residual
21-may-16	Color (U Pt-Co)	9.24E+02	Entrada PTAR	Laboratorio	A1007-16 A1008-16	Agua Residual
21-may-16	Sólidos Sedimentables (mg/L por Hora)	6.00E+00	Entrada PTAR		A1007-16 A1008-16	Agua Residual
21-may-16	DQO (mg/L)	2.89E+02	Entrada PTAR		A1007-16 A1008-16	Agua Residual
21-jun-16	DQO (mg/L)	1.31E+02	Salida PTAR		A1009-16 A1010-16	Agua Residual
21-jun-16	DQO (mg/L)	2.06E+02	Entrada PTAR		A1009-16 A1010-16	Agua Residual
21-jun-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1.60E+07	Salida PTAR		A1009-16 A1010-16	Agua Residual
21-jun-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1.60E+07	Entrada PTAR		A1009-16 A1010-16	Agua Residual
21-jun-16	Sólidos Sedimentables (mg/L por Hora)	2.00E-01	Salida PTAR		A1009-16 A1010-16	Agua Residual
21-jun-16	DBO (mg/L)	1.19E+02	Entrada PTAR		A1009-16 A1010-16	Agua Residual
21-jun-16	Color (U Pt-Co)	4.50E+02	Salida PTAR	Laboratorio	A1009-16 A1010-16	Agua Residual
21-jun-16	Sólidos Sedimentables (mg/L por Hora)	3.00E+00	Entrada PTAR		A1009-16 A1010-16	Agua Residual
21-jun-16	Color (U Pt-Co)	8.98E+02	Entrada PTAR	Laboratorio	A1009-16 A1010-16	Agua Residual
21-jun-16	DBO (mg/L)	4.40E+01	Salida PTAR		A1009-16 A1010-16	Agua Residual
20-ago-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	9.20E+07	Entrada PTAR	Laboratorio	A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Niquel (mg/L)	5.00E-02	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Color (U Pt-Co)	7.65E+02	Salida PTAR	Laboratorio	A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Mercurio (micro-g/L)	4.00E-03	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Cromo Hexavalente (MG/L)	1.00E-01	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Zinc (mg/L)	1.00E-02	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Plomo (mg/L)	5.00E-02	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2.40E+06	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Caudal (m3/día)	5.20E+01	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Carga de DBO (kg/día)	6.03E+00	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Color (U Pt-Co)	9.50E+02	Entrada PTAR	Laboratorio	A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Zinc (mg/L)	1.00E-02	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Temperatura °C	2.34E+01	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	pH	7.28E+00	Salida PTAR	Laboratorio	A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	4.80E+01	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Cadmio (mg/L)	2.00E-02	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Nitrógeno (mg/L)	8.60E+01	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Cianuro (mg/L)	3.00E-02	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Cromo Hexavalente (MG/L)	1.00E-01	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Mercurio (micro-g/L)	4.00E-03	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Niquel (mg/L)	5.00E-02	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual

Fecha de Informe	Parámetro	Medición	Ubicación	Tipo de análisis	Informe de Laboratorio	Tipo_Análisis
20-ago-16	Carga de DBO (kg/día)	3.38E+00	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Cobre (mg/L)	3.00E-02	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	DQO (mg/L)	9.25E+02	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Temperatura °C	2.34E+01	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	pH	7.50E+00	Entrada PTAR	Laboratorio	A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Grasas y Aceites (mg/L)	2.32E+01	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	DQO (mg/L)	1.66E+02	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Materia Flotante	0.00E+00	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Cianuro (mg/L)	3.00E-02	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	DBO (mg/L)	8.60E+01	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Fósforo (mg/L)	6.80E+00	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Arsénico (mg/L)	2.00E-03	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Cadmio (mg/L)	2.00E-02	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Cobre (mg/L)	3.00E-02	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Grasas y Aceites (mg/L)	5.00E+00	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Materia Flotante	0.00E+00	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	DBO (mg/L)	6.50E+01	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Nitrógeno (mg/L)	6.80E+01	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Fósforo (mg/L)	5.65E+00	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Arsénico (mg/L)	2.00E-03	Salida PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Caudal (m3/día)	5.20E+01	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual
20-ago-16	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	6.80E+01	Entrada PTAR		A1011-16 A1012-16	Agua Residual