

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE MATERIAL DE DESECHO PET COMO
ELEMENTO FILTRANTE EN FILTROS BIOLÓGICOS**

ESTUDIO ESPECIAL

**PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA
SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)**

POR:

ING. JIMMY OBDULIO CÁCERES

ASESORADO POR

DR. ING. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS

**COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO
ACADÉMICO DE**

MAESTRO EN INGENIERÍA SANITARIA

Guatemala, noviembre de 2010

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS**

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

EXAMINADOR	Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Gil

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de graduación titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE MATERIAL DE DESECHO PET COMO ELEMENTO FILTRANTE EN FILTROS BIOLÓGICOS

tema que se me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), en junio de 2009.

Atentamente,

Ing. Jimmy Cáceres

Guatemala, noviembre de 2009

AGRADECIMIENTOS

A DIOS TODOPODEROSO, por darme la vida, sabiduría y entendimiento para reconocer la diferencia entre lo bueno y lo malo, lo cual me permitieron alcanzar esta meta.

A MI ESPOSA, por estar siempre a mi lado, librando luchas, y por ser el bastión humano que todo hombre necesita para realizarse en la vida.

A MIS HIJOS, por ser la alegría e inspiración de mi vida y por permitirme compartir momentos de sano entretenimiento.

AL PERSONAL DE LA ERIS, docente y administrativo que compartió sus conocimientos conmigo, especialmente el Dr. Ing. Adán Pocasangre, quien asesoró mi trabajo con mucha erudición..

A AMIGOS Y COMPAÑEROS, por brindarme su apoyo y compañía, sobre todo, en los momentos de mayor dificultad encontrados en la vida personal y de estudio.

AL DAAD, por haberme brindado la oportunidad de incrementar el conocimiento por medio de una Maestría en Ciencias.

DEDICATORIA

A mí querida esposa: Fernanda Valladares, quien ha sido una luz que ilumina mi camino, apoyándome permanentemente en mis proyectos, dejando a un lado a los suyos. A ella, que todo lo ha dado sin pedir nada a cambio, todo cuanto logre en la vida será para ella.

A mis hijos: Jimmy y Cristian, que son el motor que me mueve a dejarles un ejemplo de vida, en franca armonía con la naturaleza, los humanos y ante todo, con Dios.

A mi madre: Olivia Cáceres, a quien Dios tenga en su seno ya que luchó hasta el final de sus días por convertirme en un hombre de bien.

ÍNDICE GENERAL

GLOSARIO	1
RESUMEN	3
1 ASPECTOS GENERALES	5
1.1 Introducción	5
1.2 Antecedentes	6
1.3 Planteamiento del problema	7
1.4 Hipótesis	9
1.5 Objetivos	11
1.5.1 Objetivo general	11
1.5.2 Objetivos específicos	11
1.6 Justificación	12
2 ASPECTOS TEÓRICOS	13
2.1 Agua residual	13
2.2 Filtración	14
2.2.1 Clasificación de los sistemas de filtración	14
2.2.2 Análisis general de la operación de filtración	15
2.2.3 Ecuación de continuidad	15
2.3 Filtros percoladores	16
2.3.1 Descripción del proceso	16
2.3.2 Microbiología del proceso	17
2.3.3 Análisis del proceso	17
2.3.4 Balance de masas	17
2.3.5 Ecuaciones del NCR	17
2.3.6 Formulaciones para medio filtrantes de material plástico	18
2.3.7 Recirculación	18
2.3.7 Limitaciones de transferencia de masa	18

2.3.8 Instalaciones de separación de sólidos para los filtros percoladores	19
2.4 PET	19
2.4.1 Propiedades	20
2.4.2 Historia	21
2.4.3 Aspectos positivos del uso de tereftalato de polietileno	21
3 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	23
3.1 Ubicación	23
3.2 Descripción cuerpo del filtro	24
3.3 Descripción elemento filtrante	31
3.4 Descripción del sistema de distribución	34
4 METODOLOGÍA	35
4.1 Características de los envases	36
4.2 Cantidad de envases necesarios	36
4.3 Tiempo necesario para la elaboración de un elemento	37
4.4 Diseño del elemento filtrante	36
4.5 Diseño del filtro	39
4.6 Diseño del sistema de distribución	39
4.7 Determinación del número de muestras	40
4.8 Puntos de muestreo	41
5 RESULTADOS	43
5.4 Primera evaluación	43
5.5 Segunda evaluación	43
5.6 Evaluación de parámetros característicos	44
5.7 Evaluación con sistema de distribución	46
5.8 Evaluación de coliformes	48
6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
6.1 Análisis parámetros evaluados	51
6.1.1 Oxígeno disuelto	51

6.1.2 Temperatura	51
6.1.3 Potencial de hidrógeno	51
6.1.4 DBO ₅	51
6.1.5 DQO	52
6.1.6 Nitritos y nitratos	52
6.1.7 Fosfatos	52
6.1.8 Sulfatos	53
6.4 Eficiencia del filtro percolador	53
7 CONCLUSIONES	57
8 RECOMENDACIONES	59
9 BIBLIOGRAFÍA	61
10 ANEXOS	65
10.1 Costo del filtro	65
10.2 Cantidad de envases	66
10.3 Área total de contacto	67
10.4 Diagrama de flujo de producción del PET	68
10.5 Manual de operación y mantenimiento	69
10.6 Hoja de mantenimiento	73

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Unidad repetitiva de PET	19
FIGURA 2: Ubicación del sistema experimental	23
FIGURA 3: Esquema del filtro percolador diseñado	30
FIGURA 4: Corte realizado al envase PET	32
FIGURA 5: Corte final de la tira que da forma al elemento filtrante	33
FIGURA 6: Esquema del sistema y puntos de muestreo	42

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1: Vista satelital de la PTAR Ing. Arturo Pazos	24
IMAGEN 2: Sedimentador primario	25
IMAGEN 3: Barriles metálicos	26
IMAGEN 4: Base de concreto para montaje de filtros	27
IMAGEN 5: Base de concreto con soporte para montaje de filtros	27
IMAGEN 6: Barriles soldados para formar el cuerpo de cada unidad del filtro	28
IMAGEN 7: Protección del filtro con pintura anticorrosiva	29
IMAGEN 8: Protección del filtro con plástico	29
IMAGEN 9: Diversos tipos, formas y tamaños de envases de bebidas	32
IMAGEN 10: Elemento filtrante diseñado a base de desechos PET	33
IMAGEN 10: Sistema de distribución de agua a base de PET	34
IMAGEN 11: Algunas formas sugeridas del elemento filtrante	37
IMAGEN 12: Elemento filtrante final	38
IMAGEN 13: Tres etapas del filtro percolador o biológico	39
IMAGEN 14: Sistema de distribución del agua sobre el área transversal del filtro	40

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Características de los embases de PET más comunes en Guatemala	36
TABLA 2: Cantidad de envases empleados para elaboración de elementos filtrantes	36
TABLA 3: Resultados de primera evaluación	43
TABLA 4: Resultados de segunda evaluación	43
TABLA 5: Resultados de tercera evaluación	44
TABLA 6: Resultados de cuarta evaluación	45
TABLA 7: Resultados de quinta evaluación	45
TABLA 8: Resultados de sexta evaluación	46
TABLA 9: Resultados de séptima evaluación	47
TABLA 10: Resultados de octava evaluación	47
TABLA 11: Resultados de novena evaluación	47
TABLA 12: Resultados de evaluación de coliformes	48
TABLA 13: Porcentaje de remoción de DQO en cada uno de los filtros	54
TABLA 14: Porcentaje de remoción de DBO en cada uno de los filtros	55

ÍNDICE DE GRAFICOS

GRAFICO 1: Comportamiento de los nitratos en el proceso del filtro percolador a base de PET	48
GRAFICO 2: Comportamiento de los nitritos en el proceso del filtro percolador a base de PET	49
GRAFICO 3: Comportamiento de los fosfatos en el proceso del filtro percolador a base de PET	49
GRAFICO 4: Comportamiento de los sulfatos en el proceso del filtro percolador a base de PET	50
GRAFICO 5: Comportamiento del oxígeno disuelto en el proceso del filtro percolador a base de PET	50

GRAFICO 6: Comparación del porcentaje de remoción de DQO	54
GRAFICO 7: Comparación del porcentaje de remoción de DBO	55

GLOSARIO

AGUA: Sustancia formada por dos átomos de Hidrogeno y uno de Oxigeno, esencial para la reproducción de los seres vivos.

AGUAS RESIDUALES: las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.

CAUDAL: el volumen de agua por unidad de tiempo.

COLIFORMES FECALES: el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.

CONTAMINACIÓN: La presencia o introducción al ambiente de elementos nocivos a la vida, la flora o la fauna, o que degraden la calidad de la atmosfera, del agua, del suelo o de los bienes y recursos naturales en general, conforme lo que establece la ley.

CUERPO RECEPTOR: embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO: la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO: la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

ELEMENTO FILTRANTE: Material de elevada área superficial por unidad de volumen, económico, duradero y que no se obstruya fácilmente.

FILTRO PERCOLADOR: Unidad de tratamiento de aguas residuales empleado como tratamiento primario o secundario, según el diseño propuesto.

MUESTRA: la parte representativa que se va a analizar, de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

PET: Polietileno de tereftalato, es un plástico de alta calidad empleado en la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes, principalmente para bebidas

PARÁMETRO: la variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos, asignándole un valor numérico.

REMOCIÓN: La cantidad que se logra reducir al valor de un parámetro característico de las aguas residuales luego de ser tratada.

REUSO: el aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

RESUMEN

El presente trabajo contiene la información obtenida en la realización del estudio especial sobre la implementación del material de desecho PET como elemento filtrante en filtros biológicos, para el tratamiento del agua residual, el cual sugiere un buen rendimiento por las características propias del material que emplea, y que se ha utilizado anteriormente sin tener registro de sus características de funcionamiento, pero que han servido como referencia para la aplicación del concepto aquí descrito. La falta de información sobre el uso de Polietileno de Tereftalato (PET), cuya fórmula química es $[-CO-C_6H_4-CO-O-CH_2-CH_2-O-]$, en filtros biológicos, hace considerar una hipótesis que permita definir su efectividad y rendimiento.

Para analizar el funcionamiento del PET como medio filtrante fue necesario construir una unidad de filtro percolador, y de esta forma poder tabular los diferentes datos obtenidos y compararlos con otros filtros que utilizan otro tipo de material como medio filtrante, como ser piedrín y desecho de ripio.

Los análisis realizados sirven para obtener una caracterización del agua residual de origen doméstico, tanto en la entrada como en la salida, así como en la fase intermedia de los filtros construidos para tal fin, considerando la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como los principales parámetros a ser evaluados.

Los valores obtenidos de remoción de DBO_5 y DQO, por encima del 90% en condiciones de carga hidráulica adecuada, reflejan claramente la efectividad del uso del desecho PET, lo que permite obtener un doble beneficio, ya que se contribuye a reutilizar en producto de desecho y al mismo tiempo se ayuda a mejorar la calidad del agua residual antes de enviarla a un cuerpo receptor.

Finalmente, se concluye que el uso de material de desecho a base de PET es una opción práctica y viable desde el punto de vista técnico y económico, ya que no se requiere de una mano de obra especializada para su implementación.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

Durante las últimas décadas, se ha observado un incremento acelerado de la contaminación de las aguas de los ríos, lagos, lagunas y mares, producto de las descargas hacia los mismos, de aguas residuales de origen doméstico, industrial y comercial, a esto se suma un alto contenido de desechos sólidos, debido a la nueva práctica de emplear envases denominados desechables.

El agua residual generada por el uso doméstico produce una contaminación que, en la mayoría de las comunidades rurales de toda el área centroamericana, no recibe ningún tipo de tratamiento, o si lo recibe, éste no es el adecuado o sencillamente no funciona por falta de un adecuado programa de mantenimiento. Lo anterior hace imperativo el desarrollo de tecnologías apropiadas, que permitan, con bajo costo, tanto de construcción como de mantenimiento, dotar a las comunidades de sistemas que ayuden a resolver este problema.

Una muy buena alternativa es el empleo de filtros biológicos, llamados también filtros percoladores, ya que representan una solución económica técnica y financieramente, que ya se emplea en algunas comunidades, por su fácil construcción y el uso exclusivo de la gravedad para el proceso de mejoramiento de las características del agua residual.

Se ha tenido un incremento sustancial en el empleo de envases para bebidas de soda y otros, por medio del polietileno de tereftalato, comúnmente conocido como PET, el cual tiene la particularidad de que puede ser reciclado, pero ya sea por falta de programas adecuados o sencillamente costumbre, estos son enviados directamente a la basura, incrementando el volumen de desechos sólidos.

En este estudio se presenta una alternativa que pueda contribuir a mejorar la calidad del agua residual de origen doméstico, y, al mismo tiempo, utilizar alguna parte de la gran cantidad de desechos sólidos que se generan por el uso de envases plásticos para la industria de las bebidas de cola, y que por mala práctica de los consumidores se tiran en sitios no apropiados y estos llegan hasta las fuentes de agua. Para ello se utilizan los envases de PET desechados para construir un elemento filtrante a ser utilizado en un filtro percolador o biológico.

1.2 Antecedentes

Anteriormente en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria se han realizado varios estudios tendientes a conocer la capacidad y eficiencia de los filtros percoladores, no se tiene conocimiento de ningún filtro biológico o percolador que trabaje con un elemento filtrante a base de PET. Aunque sí se conoce del empleo de envases PET cortados de forma desordenada y descontrolada, y luego introducidos en un sistema de tipo paquete que funciona como biodigestor, no se tienen datos que indiquen cual es el rendimiento o desempeño del medio.

Según Metcalf & Eddy (1997), el uso de piedra volcánica, piedrín, restos de tubería de PVC o piedra bola como elemento filtrante, es ya conocido y existe cierta información sobre el desempeño de los mismos; sin embargo, el empleo del PET todavía no es conocido, por lo que es necesario realizar una investigación que permita conocer cuál es el aporte en el tratamiento de las aguas residuales, y si su aplicación permite obtener una ventaja práctica en lo técnico y económico, ya que son características principales a tomar en cuenta en las comunidades rurales o urbanas de los países en vías de desarrollo.

Si bien es cierto que el PET es un material totalmente reciclable, y que ya existe una industria definida que se encarga de su recolección y posterior reciclado, todavía una gran cantidad de los envases fabricados con PET todavía es enviada directamente a la calle por personas inconscientes, con la consecuente contaminación de las fuentes de agua y el taponamiento de los drenajes, creando problemas que pueden ser evitados.

En la mayoría de los casos, los filtros percoladores son construidos de concreto, debido a la necesidad de contar con una estructura que provea seguridad y que mantenga el agua fuera del alcance de las personas para evitar la contaminación; sin embargo, en este caso se considera la posibilidad del uso de una estructura metálica protegida, con el fin de manejar el uso de materiales que se consideran de desecho, buscando una nueva aplicación.

1.3 Planteamiento del problema

Actualmente, existen muchas enfermedades derivadas de la falta de calidad del agua, producto de la contaminación de la misma, por malas prácticas empleadas por los habitantes de las comunidades al arrojar sobre la superficie cualquier cantidad de desperdicio sólido o líquido, que luego es arrastrado por las corrientes hasta las quebradas y ríos, y estos, a su vez, a lagos y mares.

Los desechos sólidos de mayor volumen presente sobre la superficie, son los envases utilizados para las bebidas de soda o cola, los cuales han llegado a sustituir a los antiguos envases de vidrio y que, al considerarse desechables, las personas se deshacen de ellos cual si fueran biodegradables, sin importar dónde los depositen.

Además, muchas comunidades no cuentan con un sistema de tratamiento de las aguas residuales y, peor aún, ni siquiera cuentan con un sistema de

recolección de excretas, lo que dificulta más el control de la calidad del agua, por lo que se vuelve necesario la construcción de sistemas que permitan un tratamiento adecuado de las aguas residuales, utilizando para ello, en la medida posible, materiales de la zona y de bajo costo.

Para ello se puede combinar un material de desecho que se encuentra en la mayoría de los hogares o diseminado por los suelos, como pueden ser los envases de PET y los filtros percoladores que representan una de las tecnologías más apropiadas para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, debido a su fácil montaje y mínimo mantenimiento, buscando, de esta forma, resolver dos problemas ambientales con una aplicación técnica y práctica.

1.4 Hipótesis

La utilización de materiales de desecho PET, obtenidos de la recolección de desechos sólidos domésticos, como elemento filtrante de los filtros biológicos, usados en el tratamiento secundario, son capaces de remover parámetros característicos, como la DBO_5 y la DQO, de las aguas residuales con una eficiencia superior al 65 %.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un modelo de elemento filtrante para filtros biológicos a partir de material de desecho PET, con características hidráulicas que permitan una máxima remoción de contaminantes presentes en el agua residual.

1.5.2 Objetivos específicos

Realizar análisis físico y químico a la entrada y salida del proceso de filtros biológicos con desechos PET como medio filtrante.

Determinar los niveles de eficiencia en la remoción de los parámetros característicos DBO_5 y DQO de las aguas residuales definidos al usar en elemento filtrante con material PET.

Determinar la tasa óptima de filtración utilizando material de desecho PET como medio filtrante.

Proponer un modelo viable económica y técnicamente para elementos filtrantes que serán usados en los filtros biológicos, para el tratamiento de aguas residuales.

1.6 Justificación

Aunque existen opciones con tecnología avanzada en el tratamiento de las aguas residuales, no se puede desconocer que estas requieren de inversiones muy altas, contratación de personal calificado y consumo de energía eléctrica, que la mayoría de las comunidades del área centroamericana no está en capacidad de afrontar; el nivel de contaminación de la mayoría de los ríos ha llegado a nivel preocupante, por lo que es urgente encontrar soluciones que puedan detener y revertir este problema, que causa enfermedades serias e incluso la muerte, además del retraso económico y social de los pueblos.

Es importante que los sistemas de tratamiento de las aguas residuales sean efectivos y eficientes, a fin de garantizar su rendimiento durante toda la vida útil, buscando que tenga una operación sencilla y de mantenimiento mínimo, para poder emplear personal del lugar, y además utilizar materiales obtenidos en la zona, ayudando a mantener un equilibrio ambiental, social y económico.

Tomando en cuenta la facilidad para obtener los desechos de envases a base de PET, y los escasos recursos con que se cuenta en muchas comunidades, se considera adecuado la implementación de un filtro percolador utilizando desechos PET como elemento filtrante, que sin necesitar una obra de grandes dimensiones, por tanto de baja inversión, cumple con la función de mejorar la calidad de agua residual de origen doméstico que luego será descargada a los cuerpos receptores, ya sean estos superficiales o subterráneos.

2 ASPECTOS TEÓRICOS

2.1 Agua residual

Las aguas residuales son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales, por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. Los materiales inorgánicos, como la arcilla, sedimentos y otros residuos, se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO₂; es por esto que los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales. Según Crites, Tchobanoglous (2000).

El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento. Específicamente el tratamiento biológico de las aguas residuales es considerado secundario ya que está ligado íntimamente a dos procesos microbiológicos, los cuales pueden ser aerobios y anaerobios. Crites, Tchobanoglous (2000).

El tratamiento secundario de las aguas residuales comprende una serie de reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por un huésped de diferentes especies bacterianas; el resultado neto es la conversión de materiales orgánicos en CO₂ y gas metano. Este último se puede separar y quemar como una fuente de energía. Debido a que ambos productos finales son volátiles, el efluente líquido ha disminuido notablemente su contenido en sustancias orgánicas. La eficiencia de un proceso de tratamiento se expresa en términos de porcentaje de disminución de la DBO inicial.

2.2 Filtración

A pesar de que la filtración es una de las principales operaciones unitarias empleadas en el tratamiento del agua residual, la filtración de efluentes procedentes de procesos de tratamiento de aguas residuales es una práctica relativamente reciente. Hoy día, la filtración se emplea de modo generalizado para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión de los efluentes de los procesos de tratamiento biológicos y químicos y también se emplea para la eliminación del fosforo precipitado por vía química. Tchobanoglous (2000).

El diseño de los filtros y la valoración de su eficacia debe basarse en:

1. la comprensión de las variables que controlan el proceso.
2. el conocimiento del mecanismo o mecanismos responsables de la eliminación de la materia particulada del agua residual.

2.2.1 Clasificación de los sistemas de filtración

Se ha proyectado y construido diversos modelos y sistemas de funcionamiento de filtros. Los principales tipos de medio granular se clasifican atendiendo a

1. tipo de funcionamiento,
2. tipo de medio filtrante empleado,
3. sentido de flujo durante la fase de filtración,
4. procedimiento de lavado a contracorriente, y
5. método de control de flujo

Según el tipo de funcionamiento, los filtros se pueden clasificar en continuos y semicontinuos; estos se mantienen en funcionamiento hasta que se empieza a deteriorar la calidad del efluente, o hasta que se produce una pérdida de carga excesiva en el filtro. Cuando se alcanza ese punto se detiene el filtro y se procede a su lavado para eliminar los sólidos acumulados. En los filtros continuos, los procesos de filtración y lavado se llevan a cabo de manera simultánea. Crites, Tchobanoglous (2000).

Con respecto a la presión actuante en la filtración, tanto la fuerza de la gravedad, como la creada por una presión aplicada, se pueden emplear para vencer la resistencia por fricción creada por el flujo que circula a través del lecho filtrante. Los filtros a presión suelen funcionar con mayores pérdidas de carga máximas admisibles, lo cual conduce a ciclos de filtración más largos y a menos necesidades de lavado. Crites, Tchobanoglous (2000).

Los principales métodos usados para el control de flujo que pasa a través de los filtros de gravedad se pueden clasificar en: filtración a caudal constante, y filtración a caudal variable decreciente.

2.2.2 Análisis general de la operación de filtración

La caracterización matemática de la eliminación de partículas en el interior de un filtro se basa en la consideración de la ecuación de continuidad junto con una ecuación de velocidad auxiliar.

2.2.3 Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad para la operación de filtrado puede desarrollarse considerando un balance de masas de los sólidos en suspensión para una sección transversal del filtro de área A y de espesor DX medido en la dirección de flujo.

El desarrollo de la pérdida de carga en el pasado la técnica más comúnmente empleada para determinar la pérdida de carga en un filtro obstruido, consistía en realizar el cálculo por medio de una forma modificada de las ecuaciones empleadas para la evacuación de las pérdidas de carga para el caso de aguas limpias. Una técnica alternativa consiste en relacionar la evolución de las pérdidas de carga con la cantidad de material eliminado en el filtro. Metcalf & Eddy (1997).

2.3 Filtros percoladores

El primer filtro percolador se puso en funcionamiento en Inglaterra en 1893. El concepto de filtro percolador nació del uso de los filtros de contacto, que eran estanques impermeables rellenos con piedra triturada. Metcalf & Eddy (1997).

2.3.1 Descripción del proceso

El filtro percolador moderno consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual percola el agua residual, fenómeno del que recibe el nombre el proceso. El medio filtrante suele estar formado por piedras, o diferentes materiales plásticos de relleno. Metcalf & Eddy (1997)

Los filtros incluyen un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hallen separados del medio. Este sistema de drenaje inferior es importante, tanto como instalación de recogida como por su estructura discontinua a través de la cual puede circular el aire. Metcalf & Eddy (1997).

La materia orgánica presente en el agua residual se degrada por la acción de la población de microorganismos adherida al medio.

2.3.2 Microbiología del proceso

La comunidad biológica presente en un filtro está compuesta, principalmente, por protistas, incluyendo bacterias facultativas, aerobias y anaerobias, hongos, algas y protozoos. También se suelen encontrar algunos animales superiores como gusanos, larvas de insectos y caracoles. En el filtro percolador, los organismos predominantes son las bacterias. Su misión, junto con las bacterias aerobias y anaerobias, es la de descomponer la materia orgánica del agua residual. Metcalf & Eddy (1997).

2.3.3 Análisis del proceso

Los principales factores que hay que tener en cuenta a la hora de predecir el funcionamiento de los filtros percoladores, son las cargas orgánica e hidráulica, y el grado de tratamiento necesario. Metcalf & Eddy (1997).

2.3.4 Balance de masas

Atkinson y sus colaboradores han propuesto el modelo para describir la tasa de flujo de materia orgánica hacia la película biológica, suponiendo que la difusión en la misma es el factor que controla la velocidad de reacción, y suponiendo, también, que no existe gradiente de concentración alguno a lo largo de la película líquida.

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Utilización}$$

2.3.5 Ecuaciones del NCR

Las ecuaciones del NCR para la descripción de los rendimientos de los filtros percoladores son expresiones empíricas desarrolladas a partir de los registros

de datos de explotación de las plantas, dotadas de filtros percoladores que trataban los residuos de las instalaciones militares durante la II Guerra Mundial. Metcalf & Eddy (1997).

2.3.6 Formulaciones para medio filtrantes de material plástico

Debido a que las propiedades de los medios de plástico son más predictibles y conocidas a priori, se han desarrollado numerosas relaciones empíricas para predecir el funcionamiento y rendimiento de los filtros percoladores con rellenos de materiales plásticos. Dos de las expresiones más frecuentemente empleadas para describir el funcionamiento observado en este tipo de filtros son las propuestas por Eckenfelder y por Germain y Schultz. Metcalf & Eddy (1997).

2.3.7 Recirculación

La aplicación de la recirculación en filtros de medios sintéticos tiene una concepción diferente a la de los filtros de piedra. Los medios sintéticos típicos necesitan un caudal específico de riego más alto para favorecer el desarrollo de la capa biológica a lo largo de la profundidad del filtro. Por lo tanto, es necesario recircular para mantener el grado de mojado necesario para cada medio determinado. Metcalf & Eddy (1997).

2.3.7 Limitaciones de transferencia de masa.

Uno de los problemas que se encuentran en el proyecto de los filtros percoladores es la determinación de la máxima cantidad de materia orgánica que se puede aplicar al filtro antes de que el oxígeno pase a ser una variable limitante. El problema se puede plantear igualando la transferencia de materia orgánica procedente de la capa líquida a la tasa de transferencia de oxígeno. Asimismo, se debe incluir un factor que tenga en cuenta el rendimiento.

2.3.8 Instalaciones de separación de sólidos para los filtros percoladores

Las instalaciones de separación de sólidos desempeñan un papel muy importante en el proceso del filtro percolador, ya que es imprescindible para la eliminación de los sólidos en suspensión arrastrados periódicamente en los filtros de baja carga, así como de las menores cantidades de sólidos desprendidos, de forma continua, en los filtros de alta carga. Metcalf & Eddy (1997).

2.4 PET

El Tereftalato de Polietileno o "Polietileno Tereftalato" (más conocido por sus siglas en inglés PET, (*Polyethylene Terephthalate*) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Algunas compañías manufacturan el PET y otros poliésteres bajo diferentes marcas comerciales; por ejemplo, en los Estados Unidos y Gran Bretaña usan los nombres de Mylar y Melinex.

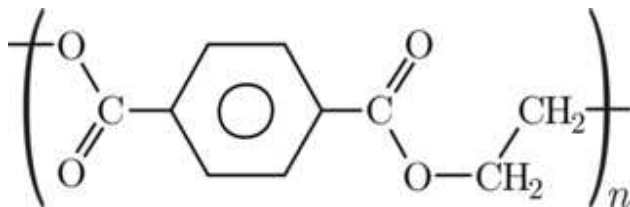


FIGURA 1: Unidad repetitiva de PET

Químicamente, el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres.

Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos, puede ser procesado mediante extrusión, inyección, inyección y soplado, soplado de preforma y termoconformado. Para evitar el

crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, para lograr una mayor transparencia.

La razón de su transparencia al enfriarse rápido, consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente, y su tamaño no interfiere con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible, de acuerdo con la teoría cuántica.

2.4.1 Propiedades

El PET presenta como características más relevantes:

1. alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes;
2. alta resistencia al desgaste y corrosión;
3. muy buen coeficiente de deslizamiento;
4. buena resistencia química y térmica;
5. muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad;
6. compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos;
7. reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica, y
8. aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.

Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la

producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.

2.4.2 Historia

Fue producido por primera vez en 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras. Se debe recordar que su país estaba en plena guerra y existía una apremiante necesidad de buscar sustitutos para el algodón proveniente de Egipto.

A partir de 1946, se empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente. En 1952, se comenzó a emplear en forma de filme para envasar alimentos. Pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, a partir de 1976. Pudo abrirse camino gracias a su particular aptitud para la fabricación de botellas para bebidas poco sensibles al oxígeno, como el agua mineral y los refrescos carbonatados. Desde principios del siglo XXI se utiliza también para el envasado de cerveza.

2.4.3 Aspectos positivos del uso de tereftalato de polietileno

Como algunos de los aspectos positivos que se encuentra para el uso de este material, principalmente empleado en envases de productos destinados a la venta, se pueden destacar:

1. actúa como barrera para los gases, como el CO₂ , humedad y el O₂;
2. es transparente y cristalino, aunque admite algunos colorantes;
3. irrompible;
4. liviana;
5. impermeable;

6. no tóxica, cualidad necesaria para este tipo de productos que están al alcance del público en general (aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios);
7. inerte (al contenido);
8. resistencia a esfuerzos permanentes y al desgaste, ya que presenta alta rigidez y dureza;
9. alta resistencia química y buenas propiedades térmicas, posee una gran indeformabilidad al calor;
10. totalmente reciclable;
11. superficie barnizable;
12. estabilidad a la intemperie, y
13. alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad que lo hacen muy adecuado para la fabricación de fibras.

3 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

3.1 Ubicación

La ubicación del proyecto es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Ing. Arturo Pazos”, de la colonia Aurora II de la zona 13, que pertenece a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, que es el centro de investigación y estudio de agua y saneamiento de mayor relevancia a nivel regional en Centroamérica.

Este sitio se encuentra a inmediaciones del Aeropuerto Internacional La Aurora, y sirve para el tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico generadas por los habitantes de la Colonia Aurora II, que está conformada por alrededor de 560 viviendas, estimando seis habitantes por vivienda se tiene una población total de 3,360 habitantes para un caudal medio de ingreso a la planta de 3.5 l/s. (Ver FIGURA 1)

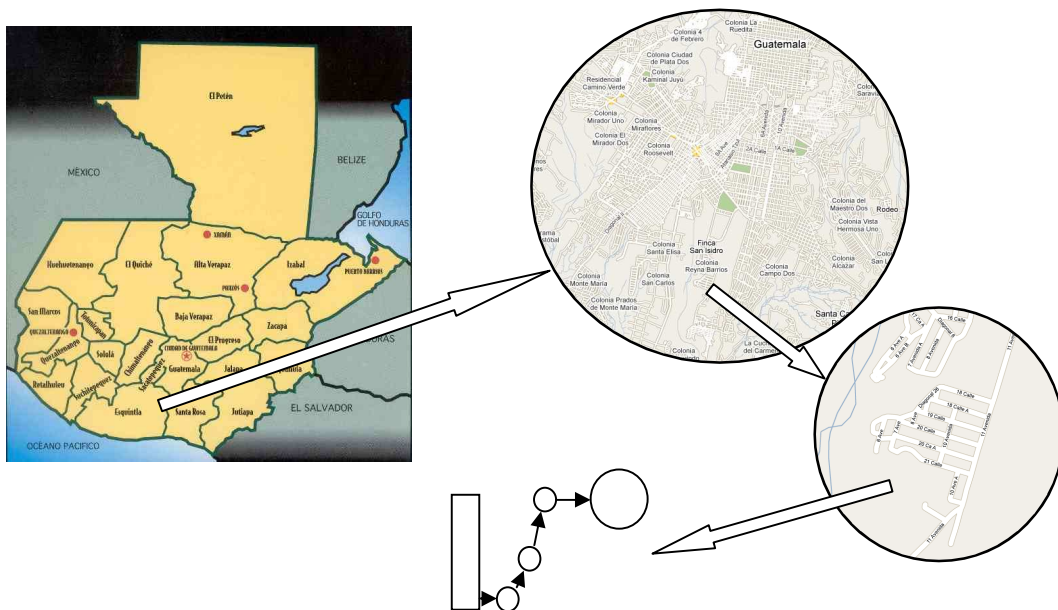


FIGURA 2: Ubicación del sistema experimental.

Este sitio limita al Norte con el Observatorio Nacional, al Este con el Aeropuerto Internacional “La Aurora” y al Sur y Oeste con barrancos y cuyas coordenadas son 14° 35” de latitud Norte y 90° 32” de longitud Oeste, pertenece a la sub-cuenca del Lago de Amatitlan con un área de 382 km². La altitud varía desde 1455 msnm en la parte más baja y 1502 msnm en la parte más alta. La descarga final de la planta se realiza al río Guadroncito, afluente del río Pinula, el cual es afluente del río Molino, que a su vez es afluente del río Villalobos, cuya descarga final llega al lago de Amatitlán. (VER IMAGEN 1)



IMAGEN 1: Vista satelital de la PTAR Ing. Arturo Pazos

3.2 Descripción cuerpo del filtro

Se ha considerado la construcción de un filtro percolador o filtro biológico como tratamiento secundario, el cual recibe el agua proveniente del sedimentador

primario ya existente en la PTAR Ing. Arturo Pazos; a través de una derivación que funciona por rebalse, entra en el filtro y desde aquí se envía hasta el sedimentador secundario, actuando todo por medio de gravedad. (Ver IMAGEN 2)



IMAGEN 2: Sedimentador primario

En vista de que el filtro construido se realiza con fines de estudio, se determinó usar una estructura liviana para evitar que la misma necesitara una base demasiado pesada, debido a la falta de una superficie adecuada para su montaje, además de disminuir el tiempo de construcción y el costo de la misma; se utiliza para ello toneles o barriles metálicos obtenidos en una empresa privada dedicada a la fabricación de calzado y que desecha este tipo de envase. (Ver IMAGEN 3)



IMAGEN 3: Barriles metálicos

La base para el montaje del cuerpo del filtro es de concreto armado, con entrada de aire que ayuda a realizar el proceso biológico aeróbico; de esta forma aumentar el rendimiento del tratamiento. (Ver IMAGENES 4 y 5) Se debe considerar que esta base se construyó para el montaje de dos filtros en paralelo, con miras a realizar otro estudio similar, empleando material de desecho de la construcción llamado ripio, como elemento filtrante.



IMAGEN 4: Base de concreto para montaje de filtros



IMAGEN 5: Base de concreto con soporte para montaje de filtros

El proceso de filtrado se lleva a cabo en el filtro con una altura total de seis metros (6 m), dividido en tres fases de dos metros (2 m) cada una, para lo cual se necesitó unir por medio de soldadura eléctrica, dos barriles completos y un tercio de otro, a los que previamente se les eliminó el fondo y la tapadera. El diámetro de estos toneles es de cincuenta y ocho centímetros (58 cm) con una pequeña variación, según el origen o uso, pero que no incide en la unión y montaje final. (Ver IMAGEN 6)



IMAGEN 6: Barriles soldados para formar el cuerpo de cada unidad del filtro

Ya que el metal es sumamente vulnerable a la corrosión al estar en contacto directo con el agua, se implementó una protección por medio de pintura anticorrosiva, tanto en el interior como en el exterior del cuerpo del filtro; además, para evitar que con el correr del tiempo, el interior del filtro sufriera la pérdida de la pintura, que pudiera corroer y a la vez desprenderse hacia el

caudal del agua tratada contaminando las muestras; se colocó una protección adicional por medio de una película de plástico de grueso calibre, alargando así la vida útil del filtro. (Ver IMAGEN 7 y 8)



IMAGEN 7: Protección del filtro con pintura anticorrosiva



IMAGEN 8: Protección del filtro con plástico

La construcción del cuerpo del filtro se realizó en un taller de herrería, siguiendo las especificaciones establecidas en el diseño planteado. (Ver FIGURA 3)

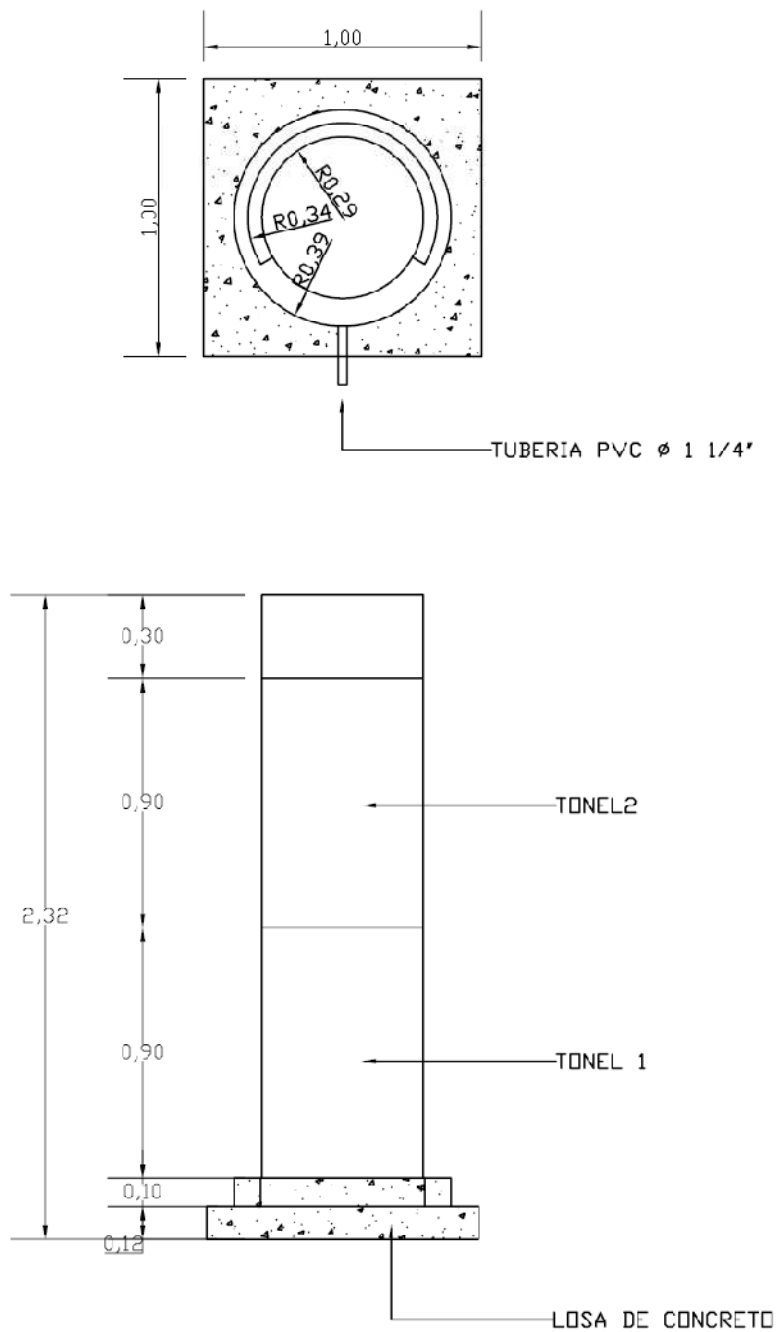


FIGURA 3: Esquema del filtro percolador diseñado

La conexión hidráulica para llevar el efluente de cada unidad y fase a la siguiente se realizó por medio de tubería PVC de 1 ¼", considerando su fácil manejo y bajo costo.

3.3 Descripción del elemento filtrante

La objetivo principal de este estudio es la caracterización del elemento filtrante, ya que es a partir de este que se determina si la hipótesis es verdadera, por lo que es necesario tomar en cuenta las diferentes variables que intervienen en el diseño y elaboración del mismo.

Este elemento se obtiene de los envases de bebidas de cola, los cuales son ampliamente usados por los fabricantes y aceptados por los consumidores por su bajo peso, fácil manejo y, sobre todo, por considerarlos erróneamente desechables, es decir de un uso único.

Existen diversas formas de envases, debido a la amplia variedad de marcas, sabores y capacidades que se venden el mercado de las bebidas (Ver IMAGEN 9), por lo fue necesario determinar en primer lugar cuál es el tipo de envase ideal para la elaboración del elemento, llegando a la conclusión de que los envases apropiados son los que contienen bebidas de dos y medio litros (2.5 l), tres litros (3 l) y tres punto tres litros (3.3 l), por el tamaño de su circunferencia, además de que la forma de los mismos es totalmente lisa, lo que facilita su corte y manipulación para la construcción del elemento.

La construcción del elemento consiste en cortar el envase, quitándole la parte superior e inferior (tapón y base), para luego cortar el cilindro, generando de esta forma una pieza rectangular, la cual debe ser cortada en tiras con un ancho de tres centímetros y el largo total de la circunferencia del envase. (Ver FIGURA 4) Esta tira es preparada debidamente en sus extremos con un corte que permita realizar una unión firme al momento de dar la forma final al elemento. (Ver FIGURA 5)



IMAGEN 9: Diversos tipos, formas y tamaños de envases de bebidas

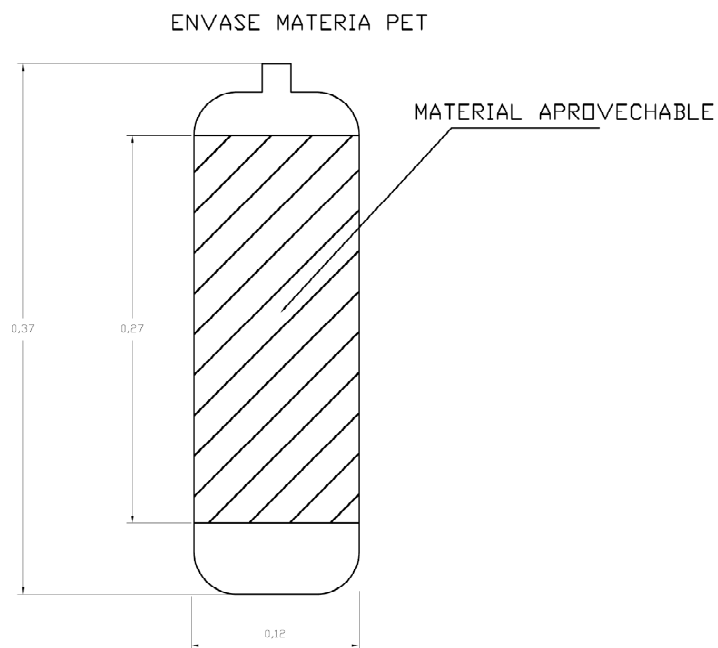


FIGURA 4: Corte realizado al envase PET

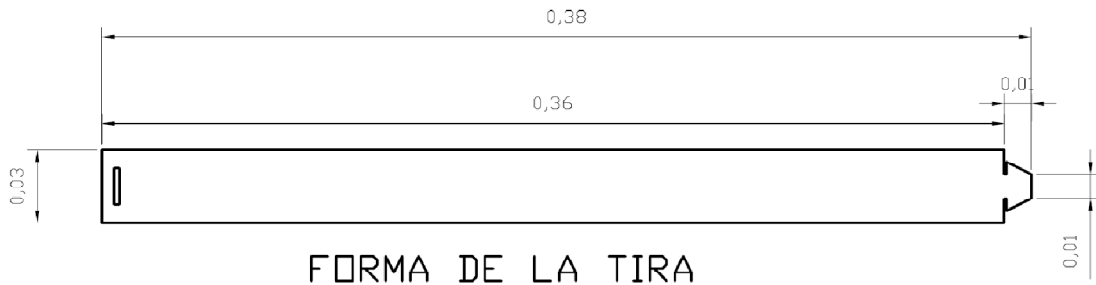


FIGURA 5: Corte final de la tira que da forma al elemento filtrante.

La forma final del elemento filtrante surge de enrollar la tira, de modo que se obtiene un espiral entrelazado que permite tener una mayor área de contacto para un volumen similar comparado con otro elemento sólido como el de una piedra. (Ver IMAGEN 10)



IMAGEN 10: Elemento filtrante diseñado a base de desechos PET

3.4 Descripción del sistema de distribución

Con el fin de mejorar el rendimiento del proceso se implementó un sistema de distribución del agua que entra en cada una de las fases, logrando que la misma entrara en contacto con la mayor área posible, ya que, si solo se vertía sobre un punto del área transversal del filtro, esta no entraría en contacto con todos los elementos contenidos en el filtro, por tanto el área de contacto del filtro sería menor, afectando de esta forma la función biológica que ayuda a mejorar la calidad del agua residual. (Ver FIGURA 10)

Este sistema está construido con el mismo material de desecho PET usado para la elaboración de los elementos filtrantes, ya que permite mantener el sistema en las condiciones adecuadas para registrar los parámetros en estudio sin alteraciones de ninguna índole.



FIGURA 10: Sistema de distribución de agua a base de PET

4 METODOLOGÍA

El primer punto fue determinar el tipo de envase por utilizar para fabricar el elemento, partiendo de las características de los diferentes tipos de envases de bebidas de soda que existen en el mercado guatemalteco.

Luego, se propone realizar un primer muestreo puntual y uno compuesto para determinar si existe variación de las características del agua residual a la entrada del tratamiento secundario, de esta forma determinar el tipo de muestreo a seguir en las pruebas posteriores.

A continuación, se evalúa a la entrada y salida del filtro percolador con medio filtrante a base de desechos PET de los parámetros considerados para la caracterización del agua residual.

Asimismo se realizan evaluaciones a la entrada y salida del filtro percolador con medio filtrante a base de desechos de la construcción de ripio de los parámetros considerados para la caracterización del agua residual.

Además, también se evalúa a la entrada y salida, del filtro percolador de concreto existente que usa como medio filtrante a pedrín, el cual tiene alrededor de treinta años de estar en funcionamiento, de los parámetros considerados para la caracterización del agua residual.

Paso seguido, se debe determinar la eficiencia en la remoción de los parámetros característicos del agua residual obtenida por el filtro percolador con base a material de desecho PET como elemento filtrante, el que usa material de desecho de la construcción denominado ripio y el construido en concreto.

Por último, se comparan los resultados obtenidos en cada uno de los tres filtros, para encontrar diferencias y similitudes entre los mismos.

4.1 Características de los envases

Considerando que los envases PET de mayor consumo son los usados en las bebidas carbonatadas o de cola, se determinó caracterizar estas únicamente a fin de determinar cuál era el más apropiado para ser usado en el diseño del elemento filtrante, obteniendo la siguiente clasificación.

TABLA 1: Características de los embases de PET más comunes en Guatemala

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
COLOR	Verde y transparente
CAPACIDAD	0.5, 0.6, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 Y 3.3 litros
FORMA	Tubular y ergonómico.

Debido a la forma y tamaño necesario del elemento filtrante, solamente se utilizaron envases de 2.5, 3 y 3.3 litros, ya que eran los únicos que cumplían con las características apropiadas para trabajar y manufacturar el elemento del tamaño adecuado.

4.2 Cantidad de envases necesarios

Para rellenar el filtro con la cantidad necesaria de elementos filtrantes fue necesaria la elaboración de 12,000 unidades de los mismos, para lo cual se emplearon

TABLA 2: Cantidad de envases empleados para elaboración de elementos filtrantes

ENVASE	CANTIDAD
2.5 litros	320
3 o 3.3 litros	1220
TOTAL	1540

4.3 Tiempo necesario para la elaboración de un elemento

Se determinó, con la ayuda de un cronómetro, el tiempo necesario para realizar el corte de diez envases de desde el tapón y la base para luego hacer las tiras. A estas se deben realizar los respectivos saques para realizar la unión que da forma a los elementos; y finalmente, se manufacturaron 80 elementos en 80 minutos, lo que da una producción de un elemento por minuto, aunque esto puede variar según las condiciones del corte.

4.4 Diseño del elemento filtrante

Ante la variada y numerosa cantidad de envases utilizado en las bebidas de cola, con diferentes colores, formas y dimensiones, se procedió a realizar una caracterización de los mismos, con la finalidad de buscar posibles formas del elemento que permitieran el mayor aprovechamiento posible de cada envase. (Ver IMAGEN 11) Se concluyó que la forma más apropiada para el elemento filtrante es la de espiral entrelazado que permite un apilamiento entre los mismos, dejando el espacio suficiente para la ventilación del aire que ingresa por la parte inferior del filtro y que contribuye a la adecuada digestión de la materia orgánica presente en el agua residual.

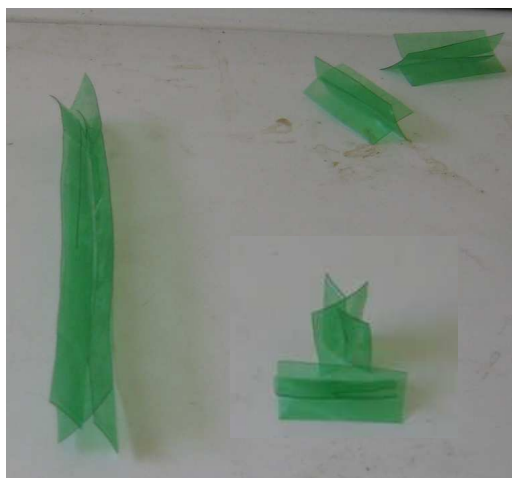


FIGURA 11: Algunas formas sugeridas del elemento filtrante.

De acuerdo con las dimensiones de los envases, se determinó construir cada elemento a partir de una tira del envase de tres centímetros de ancho, y largo que varía según el tipo de envase, que va desde los 31 centímetros hasta los 37 centímetros, obteniéndose un elemento con volumen aproximado de 160 cm³. (Ver IMAGEN 12) Una tira más ancha impide la fácil manipulación para elaborar el elemento, y una tira más delgada incrementa el número de elementos por unidad de volumen, necesitando más horas hombre para su fabricación.



IMAGEN 12: Elemento filtrante final

El área de contacto del agua residual con el elemento filtrante es de 222 cm², la cual prácticamente dobla en cantidad al área de contacto de un elemento filtrante con un volumen al del diseño determinado, debido a que la tira de desecho PET, tiene doble área de contacto.

4.5 Diseño del filtro

Considerando que el filtro debe ser fácilmente montable y desmontable, se consideró el uso de barriles o toneles metálicos, los cuales tiene una dimensión estándar de 58 centímetros de diámetro, por lo que se propuso un filtro con una altura total de seis metros, divididos en tres etapas, para una fácil construcción, facilitando de esta forma su operación y mantenimiento. El área transversal del filtro es de 0.25 m^2 , con un volumen total del filtro de 1.5 m^3 . (Ver IMAGEN 13)



IMAGEN13: Tres etapas del filtro percolador o biológico

4.6 Diseño del sistema de distribución

Para evitar que el agua proveniente de tratamiento primario y en cada una de las fases del filtro percolador cayese sobre un punto único, se dispuso instalar un sistema de distribución a la entrada de cada una de las tres fase del sistema

de filtro percolador, el cual permite que el agua se distribuya sobre toda el área transversal del filtro.

Para ello, se emplea un disco giratorio en forma de hélice con un diámetro de 25 centímetros, el cual cuenta con ocho aspas que reciben el agua de la tubería de entrada, la cual produce el movimiento de la hélice. Esta esparce el agua a toda el área. Además, por estar fabricada con el mismo material que el elemento, es de una construcción liviana, por lo que también es fácilmente movida por el viento. (Ver IMAGEN14)



IMAGEN 14: Sistema de distribución del agua sobre el área transversal del filtro.

4.7 Determinación del número de muestras

Para determinar el número de muestras necesarias por tomar en los puntos de muestreo y realizar un análisis confiable en sus resultados, se utilizaron las

curvas de niveles de confianza del método 1060 B de los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, encontrando que para un resultado con un nivel de confianza de 95 % se necesitan como mínimo nueve muestras, las que permitirán definir un período de arranque y luego conocer el comportamiento del medio filtrante al variar el caudal de entrada al filtro. Las últimas tres muestras se utilizaron para determinar el funcionamiento del filtro con el empleo de un sistema de distribución de agua a la entrada de cada unidad que compone el filtro.

4.8 Puntos de muestreo

Con el fin de comparar el comportamiento del elemento filtrante a partir de desechos PET con otros materiales utilizados en los otros tres filtros, se determinó realizar los muestreos a la entrada y salida de la batería de filtros, además de realizar un análisis en cada una de las fases del filtro en estudio para determinar el periodo de arranque del mismo. (Ver FIGURA 6)

Las muestras se tomaron en horas de la mañana, en vista que es cuando se recibe la mayor concentración de las aguas residuales producto del uso de sanitarios, baños y lavaderos por parte de los vecinos de la colonia Aurora II. En el sitio se llevan a cabo los parámetros de campo y luego se trasladan las muestras hacia el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini, donde se realizaron los análisis de los parámetros correspondientes.

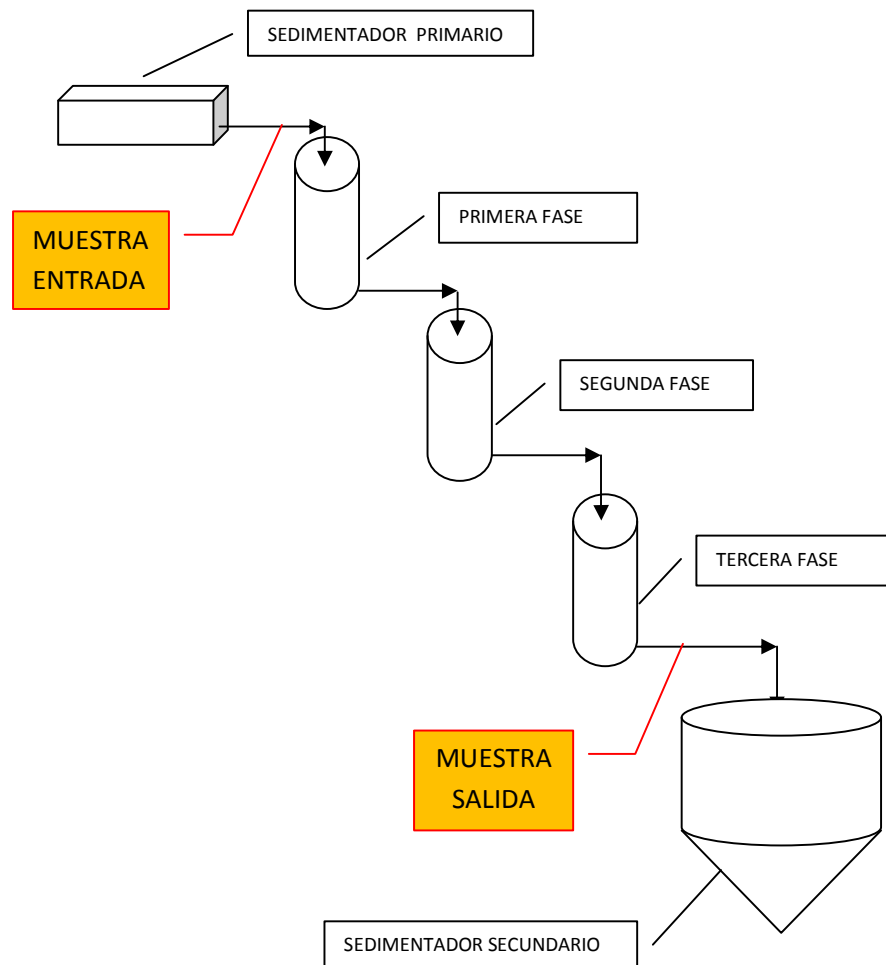


FIGURA 6: Esquema del sistema y puntos de muestreo

5 RESULTADOS

5.1 Primera evaluación

La unidad de tratamiento diseñada se puso en marcha el 18 de mayo de 2009, con caudal constante de 0.01 l/s, y luego de una semana se tomo la primera muestra de agua a la entrada y salida de cada uno de los tres filtros que se comparan en el presente estudio, para realizar los análisis de DBO₅ y DQO, para poder conocer el periodo de arranque del filtro, arrojando los resultados mostrados en la siguiente tabla:

TABLA 3: Resultados de primera evaluación

PRIMERA EVALUACIÓN					
FECHA: 27 de abril		CAUDAL: 0.01 l	ELEMENTO FILTRANTE		
		VALOR	PET	PIEDRÍN	RIPIO
PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 1	SALIDA 2	SALIDA 3
DQO	mg/l	324.0	152.0	33.0	52.0
DBO5	mg/l	177.0	94.0	18.0	28.0

5.2 Segunda evaluación

La segunda evaluación se realizó a la semana siguiente con los mismos parámetros que la primera, con el fin único de comprobar el período de arranque de la unidad de tratamiento, los resultados fueron los siguientes:

TABLA 4: Resultados de segunda evaluación

SEGUNDA EVALUACIÓN					
FECHA: 04 de mayo		CAUDAL: 0.01 l	ELEMENTO FILTRANTE		
		VALOR	PET	PIEDRÍN	RIPIO
PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 1	SALIDA 2	SALIDA 3
DQO	mg/l	466.0	180.0	70.0	82.0
DBO5	mg/l	216.0	108.0	40.0	45.0

5.3 Evaluación de parámetros característicos

Después de realizadas las primeras dos evaluaciones en los parámetros específicos de DBO₅ y DQO, se realizaron cuatro pruebas más con un caudal controlado constante de 0.01 l/s, el cual fue incrementado en 0.01 cada semana con el fin de obtener el valor máximo de caudal por tratar por el filtro a base en los desechos PET; el filtro de piedrín trabaja con caudal variable y el de ripio se ajusta su caudal al mismo que al de estudio. Los resultados se muestran en las tablas a continuación:

TABLA 5: Resultados de tercera evaluación

TERCERA EVALUACIÓN					
FECHA: 11 de mayo	CAUDAL Q = 0.01 l/s		ELEMENTO FILTRANTE		
		VALOR	PET	PIEDRÍN	RIPIO
PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 1	SALIDA 2	SALIDA 3
OXÍGENO DISUELTO	mg/l	1.8	3.4	4.0	3.5
TEMPERATURA	°C	24.9	24.6	23.3	22.6
POTENCIAL DE HIDRÓGENO		7.14	7.18	7.14	7.09
DQO	mg/l	357.0	114.0	58.0	68.0
DBO5	mg/l	160.0	28.0	13.0	12.0
NITRATOS	mg/l	85.8	37.4	114.4	118.8
NITRITOS	mg/l	0.281	0.406	0.050	0.050
FOSFATOS	mg/l	8.4	6.8	7.1	5.0
SULFATOS	mg/l	16.0	16.0	14.0	14.0
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	0.5	0.1	0.5	0.7

TABLA 6: Resultados de cuarta evaluación

CUARTA EVALUACIÓN					
FECHA: 18 de mayo	CAUDAL Q = 0.02 l/s		ELEMENTO FILTRANTE		
		VALOR	PET	PIEDRÍN	RIPIO
PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 1	SALIDA 2	SALIDA 3
OXÍGENO DISUELTO	mg/l	1.3	4.1	4.8	3.9
TEMPERATURA	°C	22.7	20.3	22.3	20.5
POTENCIAL DE HIDRÓGENO		7.18	7.09	7.20	7.21
DQO	mg/l	324.0	28.0	25.0	67.0
DBO5	mg/l	193.0	18.0	12.0	20.0
NITRATOS	mg/l	63.8	88.0	125.4	92.4
NITRITOS	mg/l	0.149	0.165	0.165	0.330
FOSFATOS	mg/l	14.5	12.9	15.4	16.0
SULFATOS	mg/l	10.0	16.0	9.0	12.0
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	0.2	0.1	0.0	2.0

TABLA 7: Resultados de quinta evaluación

QUINTA EVALUACIÓN					
FECHA: 25 de mayo	CAUDAL Q = 0.03 l/s		ELEMENTO FILTRANTE		
		VALOR	PET	PIEDRÍN	RIPIO
PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 1	SALIDA 2	SALIDA 3
OXÍGENO DISUELTO	mg/l	1.5	3.8	4.4	3.7
TEMPERATURA	°C	23.8	22.5	22.8	21.6
POTENCIAL DE HIDRÓGENO		7.16	7.14	7.17	7.15
DQO	mg/l	340.5	34.0	41.5	67.5
DBO5	mg/l	176.5	17.0	12.5	16.0
NITRATOS	mg/l	74.8	62.7	119.9	105.6
NITRITOS	mg/l	0.215	0.285	0.107	0.190
FOSFATOS	mg/l	11.5	9.9	11.3	10.5
SULFATOS	mg/l	13.0	16.0	11.5	13.0
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	0.4	0.1	0.3	1.4

TABLA 8: Resultados de sexta evaluación

SEXTA EVALUACIÓN					
FECHA: 1 de junio	CAUDAL Q = 0.04 l/s		ELEMENTO FILTRANTE		
		VALOR	PET	PIEDRÍN	RIPIO
PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 1	SALIDA 2	SALIDA 3
OXÍGENO DISUELTO	mg/l	1.9	2.3	4.1	3.8
TEMPERATURA	°C	24.7	24.6	23.4	23.2
POTENCIAL DE HIDRÓGENO		7.15	7.16	7.14	7.13
DQO	mg/l	360.0	210.0	56.0	78.0
DBO5	mg/l	161.0	78.0	15.0	30.0
NITRATOS	mg/l	80.0	92.0	115.0	110.0
NITRITOS	mg/l	0.320	0.350	0.056	0.058
FOSFATOS	mg/l	8.8	8.7	7.2	6.9
SULFATOS	mg/l	17.0	16.0	14.0	15.0
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	0.6	0.4	0.4	1.2

5.4 Evaluación con sistema de distribución

Se realizaron tres muestreos adicionales, con el sistema de distribución de agua y con incremento del caudal desde 0.03 hasta 0.05 l/s, para determinar la capacidad del filtro al incrementar el caudal. Esta evaluación se realizó solamente para ciertos parámetros. Los resultados se muestran en las siguientes tablas:

TABLA 9: Resultados de séptima evaluación

SÉPTIMA EVALUACIÓN					
FECHA: 8 de junio	CAUDAL Q = 0.03 l/s		ELEMENTO FILTRANTE		
		VALOR	PET	PIEDRÍN	RIPIO
PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 1	SALIDA 2	SALIDA 3
OXÍGENO DISUELTO	mg/l	1.6	4.6	4.8	3.9
TEMPERATURA	°C	23.8	22.3	22.9	21.9
POTENCIAL DE HIDRÓGENO		7.18	7.16	7.16	7.14
DQO	mg/l	337.0	32.0	30.0	50.0
DBO5	mg/l	160.0	16.0	20.0	28.0
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	0.5	0.2	0.3	0.8

TABLA 10: Resultados de octava evaluación

OCTAVA EVALUACIÓN					
FECHA: 15 de junio	CAUDAL Q = 0.04 l/s		ELEMENTO FILTRANTE		
		VALOR	PET	PIEDRÍN	RIPIO
PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 1	SALIDA 2	SALIDA 3
OXÍGENO DISUELTO	mg/l	1.7	4.5	4.8	3.6
TEMPERATURA	°C	24.5	23.9	23.3	23.9
POTENCIAL DE HIDRÓGENO		7.11	7.10	7.08	7.09
DQO	mg/l	395.0	38.0	61.0	75.0
DBO5	mg/l	183.0	18.0	21.0	30.0
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	0.9	0.3	0.3	1.4

TABLA 11: Resultados de novena evaluación

OCTAVA EVALUACIÓN					
FECHA: 22 de junio	CAUDAL Q = 0.05 l/s		ELEMENTO FILTRANTE		
		VALOR	PET	PIEDRÍN	RIPIO
PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA 1	SALIDA 2	SALIDA 3
OXÍGENO DISUELTO	mg/l	1.7	3.9	4.7	3.5
TEMPERATURA	°C	24.8	24.5	23.2	23.6
POTENCIAL DE HIDRÓGENO		7.12	7.11	7.14	7.10
DQO	mg/l	382.0	115.0	45.0	78.0
DBO5	mg/l	180.0	48.0	19.0	29.0
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	0.7	0.5	0.4	1.5

5.5 Evaluación de coliformes

Para conocer el comportamiento de coliformes totales y fecales en el filtro de desechos PET, se realizaron únicamente dos análisis por medio del método de tubos de fermentación, encontrando los resultados siguientes, que sirven solo como referencias.

TABLA 12: Resultados de evaluación de coliformes

PARÁMETRO	UNIDAD	11 de mayo		18 de mayo	
		ENTRADA	SALIDA PET	ENTRADA	SALIDA PET
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 CM3	2.40E+12	2.20E+11	2.80E+12	2.10E+11
COLIFORMES FECALES	NMP/100 CM3	2.40E+12	1.20E+11	2.80E+12	2.80E+10

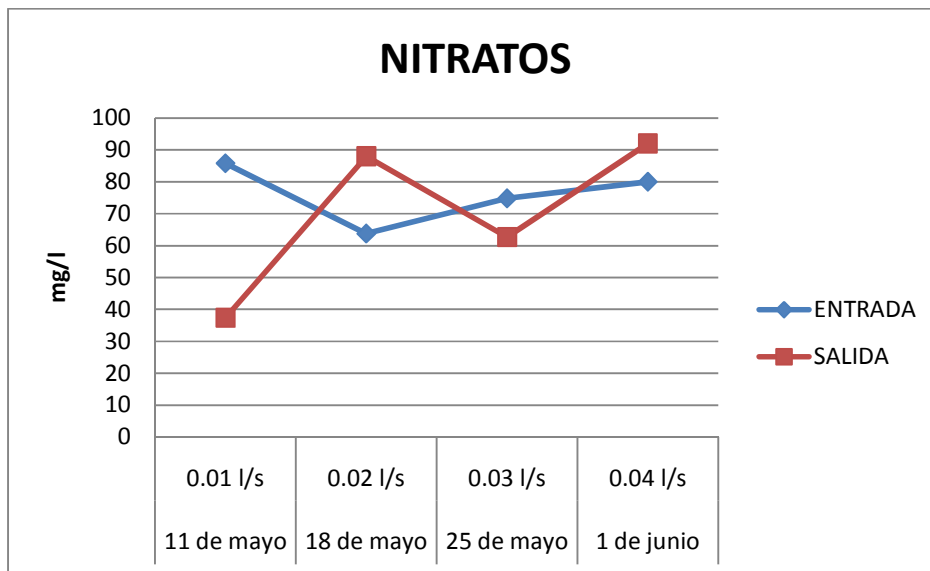


GRAFICO 1: Comportamiento de los nitratos en el proceso del filtro percolador a base de PET

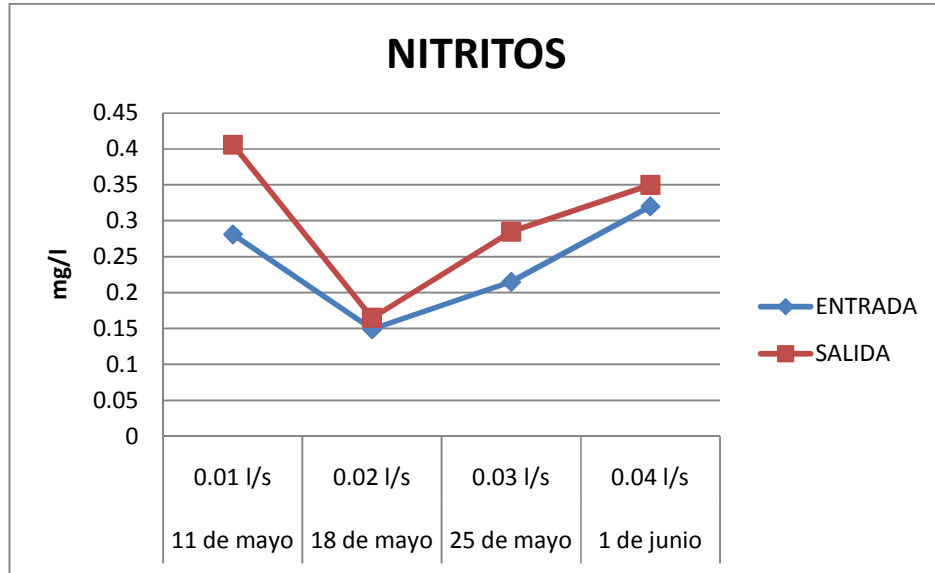


GRAFICO 2: Comportamiento de los nitritos en el proceso del filtro percolador a base de PET

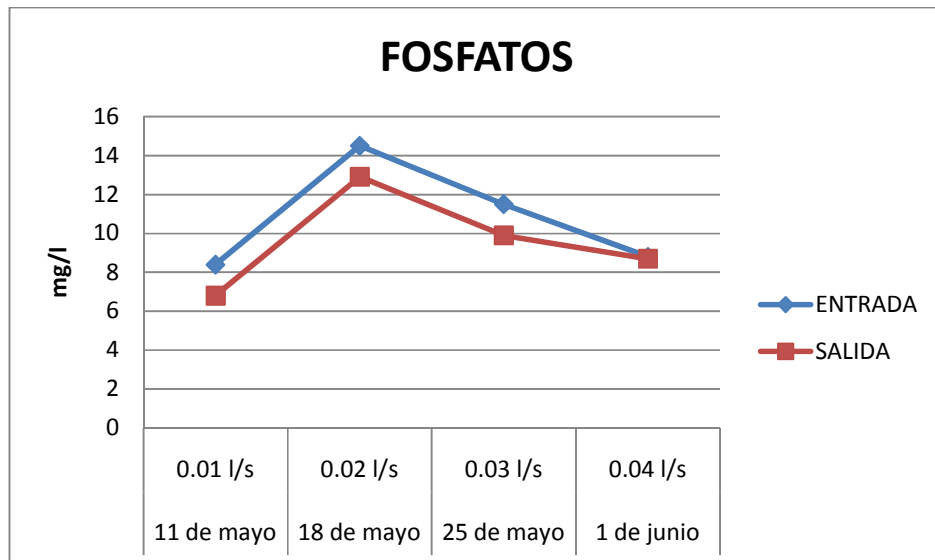


GRAFICO 3: Comportamiento de los fosfatos en el proceso del filtro percolador a base de PET

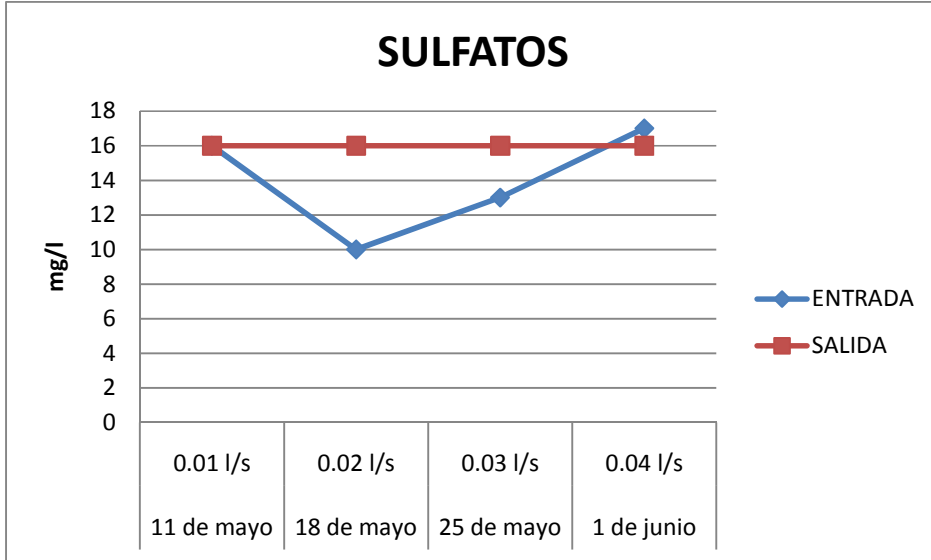


GRAFICO 4: Comportamiento de los sulfatos en el proceso del filtro percolador a base de PET

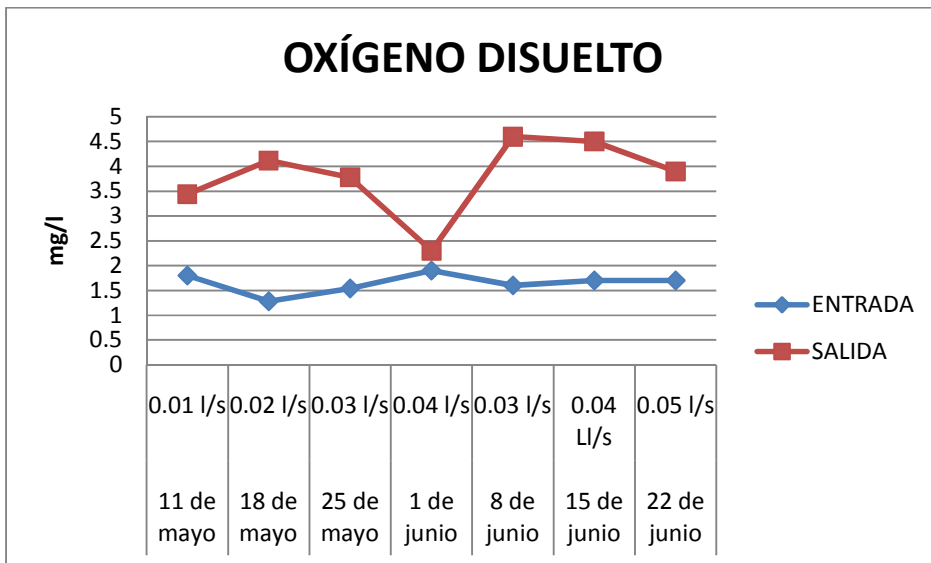


GRAFICO 5: Comportamiento del oxígeno disuelto en el proceso del filtro percolador a base de PET

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Análisis parámetros evaluados

6.1.1 Oxígeno disuelto

El valor del oxígeno disuelto presente en el agua residual de entrada al filtro percolador en estudio es bajo, lo que demuestra la presencia de materia orgánica; sin embargo, luego del proceso de filtración aerobia por medio del PET se logra un incremento sustancial del oxígeno disuelto a la salida del mismo, lo que indica un funcionamiento apropiado del elemento filtrante.

6.1.2 Temperatura

El rango de temperatura presente en el agua tanto a la entrada como a la salida del filtro percolador, oscila entre los 22 °C y 25 °C, temperatura propia para la formación de las bacterias mesófilas.

Durante todas las pruebas se obtiene un descenso en la temperatura al pasar el agua residual por el filtro percolador, debido en gran parte por la presencia de ventilación en el proceso.

6.1.3 Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno se encuentra en un rango entre 7 y 7.5 que se considera aceptable para la realización de los procesos biológicos para el crecimiento de las bacterias.

6.1.4 DBO₅

Este es uno de los principales parámetros para la caracterización de las aguas residuales, y en este estudio se puede ver la remoción adecuada del mismo,

logrando bajar hasta valores que cumplen con la normativa vigente sobre las descargas de agua residual a los cuerpos receptores.

6.1.5 DQO

Al igual que la DBO_5 , este parámetro es esencial en el estudio y caracterización de las aguas residuales, mostrando la remoción de materia orgánica presente en el agua, que permite tener una adecuada información sobre la eficiencia del tratamiento aplicado.

En este caso, se puede observar cómo la DQO en el agua de entrada se encuentra en un rango propio de las aguas residuales domésticas, y luego de la aplicación del proceso de filtración a través del material PET esta llega a valores bajos que permiten su vertido a cuerpos receptores, cumpliendo con las normas respectivas.

6.1.6 Nitritos y nitratos

Los nitratos son mucho menos tóxicos que los nitritos, por lo que es importante su remoción; sin embargo, en este estudio no se tiene un comportamiento claro de su remoción, ya que cuando se disminuye los nitratos, los nitritos se incrementan; y cuando los nitritos disminuyen los nitratos aumentan.

6.1.7 Fosfatos

Aunque la disminución de los fosfatos al utilizar el desecho PET como elemento filtrante es mínima, esta resulta significativa, ya que indica la necesidad de un tratamiento posterior para eliminarlo, porque los altos contenidos de fosfatos, producto del uso de detergentes, puede ocasionar un rápido crecimiento de algas en las aguas del cuerpo receptor.

6.1.8 Sulfatos

Los sulfatos presentes en aguas residuales llegan causar la proliferación de gases y ácidos altamente tóxicos para la salud humana; asimismo, dichos ácidos y gases, además de ser explosivos en combinación con el oxígeno, son también corrosivos atacando a estructuras metálicas y de concreto.

En este estudio, se encontró la presencia alta de los sulfatos y la poca o nula remoción de los mismos por medio del tratamiento empleado, lo que refleja la necesidad de la protección adecuada de la estructura del filtro, ya que la misma es de metal.

6.2 Eficiencia del filtro percolador

La remoción de los dos parámetros principales, DBO_5 y DQO, indica la eficiencia del tratamiento empleado por medio de un filtro percolador a base de desechos PET, la cual se ve claramente afectada solo cuando se incrementa el caudal de ingreso a la unidad de tratamiento. Esto sugiere la necesidad de mantener un control permanente sobre el caudal de entrada, para evitar el barrido de las bacterias que componen la biopelícula en el elemento filtrante.

Los valores alcanzados en la remoción de DBO_5 y DQO superan el 90 %, con lo que se cumple la hipótesis trazada en el inicio del presente estudio.

La implementación de un sistema de distribución de agua sobre el área transversal del filtro, ayuda a mejorar el rendimiento del sistema, permitiendo aumentar el caudal de entrada a la unidad hasta un 0.04 l/s.

TABLA 13: Porcentaje de remoción de DQO en cada uno de los filtros

DQO		ENTRADA	SALIDA PIEDRÍN		SALIDA PET		SALIDA RIPIO	
				EFICIENCIA		EFICIENCIA		EFICIENCIA
1ª evaluación	mg/l	324.0	33.0	90%	152.0	53%	52.0	84%
2ª evaluación	mg/l	466.0	70.0	85%	180.0	61%	82.0	82%
3ª evaluación	mg/l	357.0	58.0	84%	114.0	68%	68.0	81%
4ª evaluación	mg/l	324.0	25.0	92%	28.0	91%	67.0	79%
5ª evaluación	mg/l	340.5	45.5	87%	34.0	90%	60.0	82%
6ª evaluación	mg/l	360.0	56.0	84%	210.0	42%	78.0	78%
7ª evaluación	mg/l	337.0	30.0	91%	32.0	91%	50.0	85%
8ª evaluación	mg/l	395.0	61.0	85%	38.0	90%	75.0	81%
9ª evaluación	mg/l	382.0	45.0	88%	115.0	70%	78.0	80%

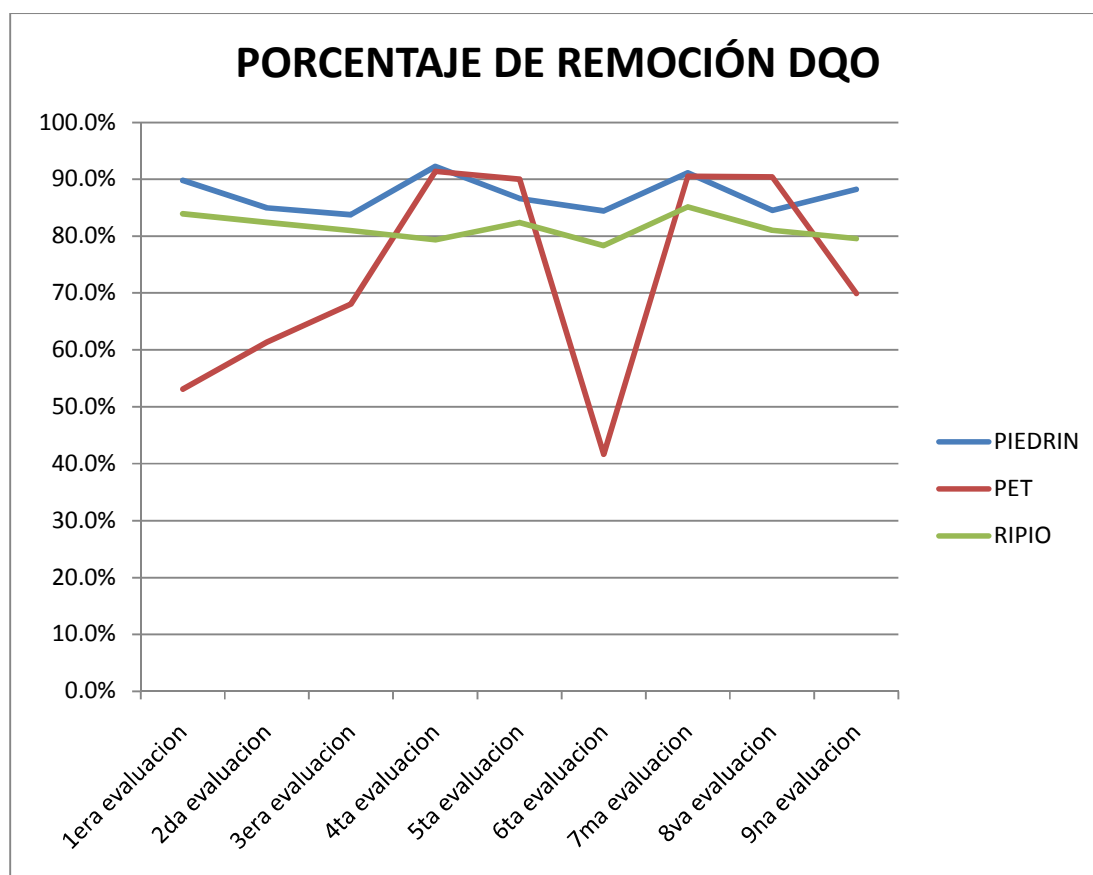


GRAFICO 6: Comparación del porcentaje de remoción de DQO

TABLA 14: Porcentaje de remoción de DBO en cada uno de los filtros

DBO5		ENTRADA	SALIDA PIEDRÍN		SALIDA PET		SALIDA RIPIO	
				EFICIENCIA		EFICIENCIA		EFICIENCIA
1ª evaluación	mg/l	177.0	18.0	90%	94.0	47%	28.0	84%
2ª evaluación	mg/l	216.0	40.0	81%	108.0	50%	45.0	79%
3ª evaluación	mg/l	160.0	13.0	92%	28.0	83%	12.0	93%
4ª evaluación	mg/l	193.0	12.0	94%	18.0	91%	20.0	90%
5ª evaluación	mg/l	162.0	12.5	92%	14.0	91%	33.5	79%
6ª evaluación	mg/l	161.0	15.0	91%	78.0	52%	30.0	81%
7ª evaluación	mg/l	160.0	20.0	88%	16.0	90%	28.0	83%
8ª evaluación	mg/l	183.0	21.0	89%	18.0	90%	30.0	84%
9ª evaluación	mg/l	180.0	19.0	89%	48.0	73%	29.0	84%

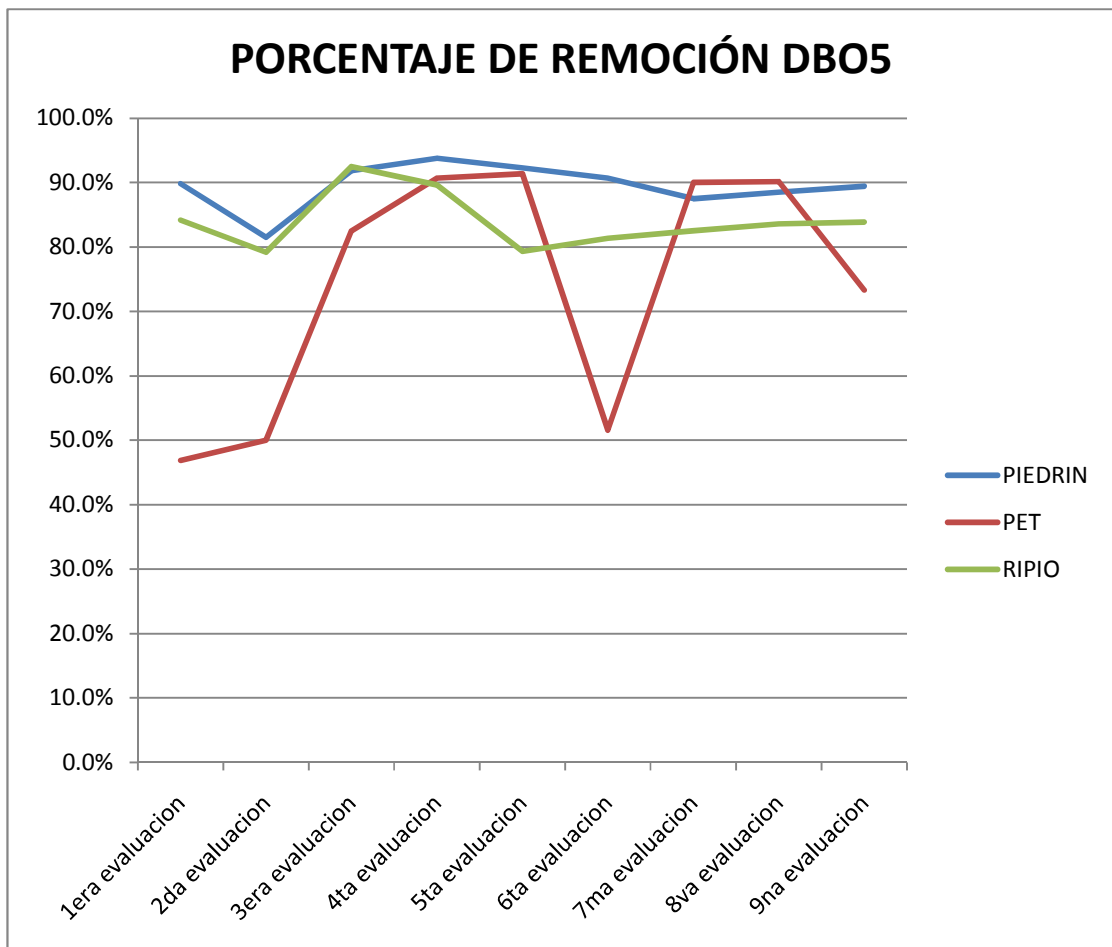


GRAFICO 7: Comparación del porcentaje de remoción de DBO

7 CONCLUSIONES

El material de desecho PET puede ser usado como elemento filtrante en filtros biológicos, logrando eficiencias en remoción de DBD_5 y DQO superiores al 90 por ciento, lo que lo convierte en una alternativa de bajo costo, por la fácil adquisición de la materia prima, en el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico.

El tiempo de arranque en el cual se logra una remoción significativa de los parámetros de DBO_5 y DQO al emplear desechos PET, es por debajo de los quince días, lo cual indica la buena capacidad del elemento filtrante para adaptarse al medio y hacer la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

El caudal máximo por tratar con la implementación de este filtro percolador con las dimensiones establecidas, es de 0.04 l/s, lo que equivale a una población de hasta 30 personas en el área urbana.

El bajo peso específico de los elementos de desechos PET, permiten la construcción de una estructura ligera para el montaje del filtro percolador o biológico, ya que el mismo es de solamente 10 kg/m^3 logrando con esto reducir significativamente los costos y tiempo de ejecución de la obra.

La instalación de un sistema de distribución para la irrigación del agua sobre toda el área transversal del filtro percolador, mejora la capacidad del filtro hasta tratar un caudal máximo de 0.04 l/s, el cual sin este dispositivo era de 0.03 l/s.

La remoción de los sólidos sedimentables en el sistema empleado por desechos PET, es alta, debido a que el elemento filtrante es totalmente inerte, lo que no permite que exista desprendimiento de su cuerpo; solo se desprenden las bacterias que van muriendo durante el proceso.

Debido al diseño utilizado en la elaboración del elemento filtrante, se logra incrementar el área de contacto en un 35 por ciento en comparación a la de cualquier objeto sólido de volumen similar.

8 RECOMENDACIONES

Realizar nuevos estudios tendientes a determinar la capacidad real de una Planta de Tratamiento que cuente con todos las fases de tratamiento, desde la unidad de tratamiento primario hasta el tratamiento terciario.

Es necesario diseñar y construir una máquina para realizar los cortes de los envases de una forma técnica que permita lograr mejores tiempos en la elaboración de los elementos filtrantes, ya que realizar esta operación de forma manual, requiere de muchas horas-hombre, que sin la práctica puede llevar rápidamente al cansancio.

Dar a conocer esta tecnología a las diferentes autoridades que tienen relación con el tema de agua y saneamiento para que lo consideren en los futuros proyectos a desarrollarse, debido al bajo costo que representa su montaje operación y mantenimiento, así como la alta capacidad de caudal de tratamiento.

Proveer la asistencia económica y financiera para lograr patentar el diseño del elemento filtrante, ya que por ser un estudio único en su clase y con base en los resultados obtenidos, se puede ver en él, un potencial éxito comercial, al usarse en plantas de tratamiento de aguas residuales tanto públicas como privadas.

Se debe considerar que, aunque el peso de los elementos filtrantes es mínimo, con el transcurrir del tiempo estos continúan asentándose, por lo que es necesario introducir otra cantidad de los mismos, lo cual puede ayudar a incrementar el rendimiento de la planta.

La presencia de coliformes totales y fecales en el efluente del filtro percolador en base a PET, es alto; sin embargo, es necesario realizar un estudio más

específico, con un número mayor de muestras, para determinar la verdadera eficiencia en cuanto a remoción de los mismos.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. AWWA; APHA; WPCF. 1992. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España. Díaz de Santos, S. A.
2. Chew Cruz, MR. 1989. *Tratamiento de aguas residuales domesticas, utilizando reactor con manto de lodos anaeróbicos, de flujo ascendente*. Tesis de maestría de ciencias. Guatemala, USAC, ERIS.
3. Crites R; Tchobanoglous G. 2000. *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Santa Fe de Bogotá, Colombia. McGraw-Hill. Quebecor. t1-t2-t3.
4. Cruz Nuñez, HJ. 1990. *Evaluación de dos filtros percoladores para tratamiento de aguas residuales*. Tesis de maestría de ciencias. Guatemala, USAC, ERIS.
5. Departamento de Sanidad del estado de New York. 1964. *Manual de tratamiento de aguas residuales*.
6. Fair, GM; Geyer JC; Okun DA. 1971. *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. México, DF, Limusa. 2v.
7. Hernández Lehmann, A. 1997. *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*. España.
8. Hernández Muñoz, A. 1998. *Depuración de aguas residuales*. Cuarta edición. Madrid, España, Paraninfo, S. A.
9. Metcalf y Eddy. 1996. *Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. Tercera edición. México, DF, McGraw-Hill. t1-t2.

10. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala. *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y la disposición de lodos*. Acuerdo Gubernativo número 236-2006.
11. Ministerio de Comercio e Industria de Panamá. 2000. *Reglamento técnico DJNTI-COPANIT 35-2000*. agua. Descargas de efluentes líquidos directamente a cuerpos y masas de aguas superficiales y subterráneas.
12. Ministerio de Economía. 1997. *Norma COGUANOR 4 010-DM/DOO1*. Sistema internacional de unidades (SI). Guatemala, Comisión de normas.
13. Ministerio de Salud de Honduras. 1996. *Normas técnicas de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillados sanitarios*. Acuerdo No 058, Diario oficial La Gaceta.
14. Ministerio de Salud de Nicaragua. 1995. *Disposición para el control de la contaminación proveniente de las descargas de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias*. Decreto No 33-95, Diario oficial La Gaceta.
15. Ministerios de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica. 1997. *Reglamento de reuso y vertido de aguas residuales*. Decreto ejecutivo 26042-S-MINAE. Diario La Gaceta.
16. Moreira Esquivel, F. 1989. *Evaluación de la eficiencia de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales con un reactor anaeróbico de flujo ascendente y un filtro percolador*. Tesis de maestría de ciencias. Guatemala, USAC, ERIS.
17. Much Santos, Z. 2005. *Química y microbiología sanitaria*. Manual de Laboratorio. Curso de maestría en Ingeniería Sanitaria, Guatemala, USAC, ERIS.

18. Oakley, SM. 2005. *Lagunas de estabilización en Honduras: manual de diseño, construcción, monitoreo y sostenibilidad*. Honduras, FHIS/UGE, USAID.
19. Ramírez Regalado, WA. 1991. *Evaluación de un filtro percolador como tratamiento posterior al agua tratada de un reactor anaerobio de flujo ascendente*. Tesis de maestría de ciencias. Guatemala, USAC, ERIS.
20. Romero Rojas, JA. 1999. *Calidad del agua*. Segunda edición. México, DF, Alfa Omega.
21. Yanez Cossio, F. 1993. *Normas de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales; Borrador para discusión*. Organización Panamericana para la Salud, Programa de Desarrollo Tecnológico en el campo de tratamiento de aguas residuales en Guatemala.

10 ANEXOS

10.1 Costo del filtro

A continuación se muestra el costo de la construcción del filtro y de los materiales empleados, incluyendo su instalación.

PRESUPUESTO DE COSTOS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO Q	COSTO TOTAL Q
Barriles metálicos	6	75.00	450.00
Pintura anticorrosiva	1	300.00	300.00
Tubería PVC 1"	6	45.00	270.00
Plástico protector	6	25.00	150.00
Albañil P/mano de obra	20	60.00	1200.00
Cemento	2	80.00	160.00
Arena	3	20.00	60.00
Grava	3	25.00	75.00
Varilla ¼"	3	20.00	60.00
Válvula de control ¾"	1	60.00	60.00
Envases PET	1500	0.10	150.00
Imprevistos	1	65.00	65.00
		COSTO TOTAL	3000.00

Un sistema prefabricado tipo paquete para el tratamiento de 600 litros al día, denominado biodigestor, tiene un costo de mercado de tres mil setecientos quetzales (Q 3,700.00), sin incluir el costo por instalación.

Esto indica la viabilidad económica del modelo propuesto, el cual trata un máximo de 850 litros por día.

10.2 Cantidad de envases

Para determinar la cantidad de envases necesarios para rellenar el filtro percolador o biológico preparado a partir de los toneles, se consideró el volumen total del mismo, a partir del conocimiento que un barril tiene una capacidad de 55 galones; por medio de un recipiente plástico con capacidad de dos galones, se hicieron los elementos necesarios para llenarlo, encontrando que este valor era de 60 elementos.

El volumen total a llenar son 7 barriles por lo que los galones necesarios son:

$$\text{Volumen total} = 55 \text{ gal} * 7 = 385 \text{ gal}$$

Sabiendo que el recipiente plástico de dos galones contiene 60 elementos, es decir 30 elementos por galon.

$$\# \text{ elementos} = 385 \text{ gal} * \frac{30 \text{ elementos}}{1 \text{ galon}} = 11550 \text{ elementos}$$

Conociendo que de cada envase de 3 litros se obtienen 8 elementos, y considerando un factor de seguridad de 5 % por el asentamiento que puede ocurrir por el peso de los elementos, entonces

$$\# \text{ envases} = \frac{11550 \text{ elementos}}{8 \frac{\text{elementos}}{\text{envase}}} * 1.05 = 1516 \text{ envases}$$

Con este valor se determinó recolectar 1500 envases, los cuales fueron captados por el recolector de desechos sólidos que atiende la colonia Granai III.

Este análisis es muy próximo al número real de envases utilizados que fue de 1540, y el margen de error se atribuye al asentamiento que sufren los elementos por el peso de los que se encuentran inmediatamente arriba.

10.3 Área total de contacto

Al considerar el número total de elementos empleados en el filtro biológico, se tiene que el área total de contacto para la formación de la biopelícula encargada de la degradación de la materia orgánica al pasar el agua residual sobre ella es

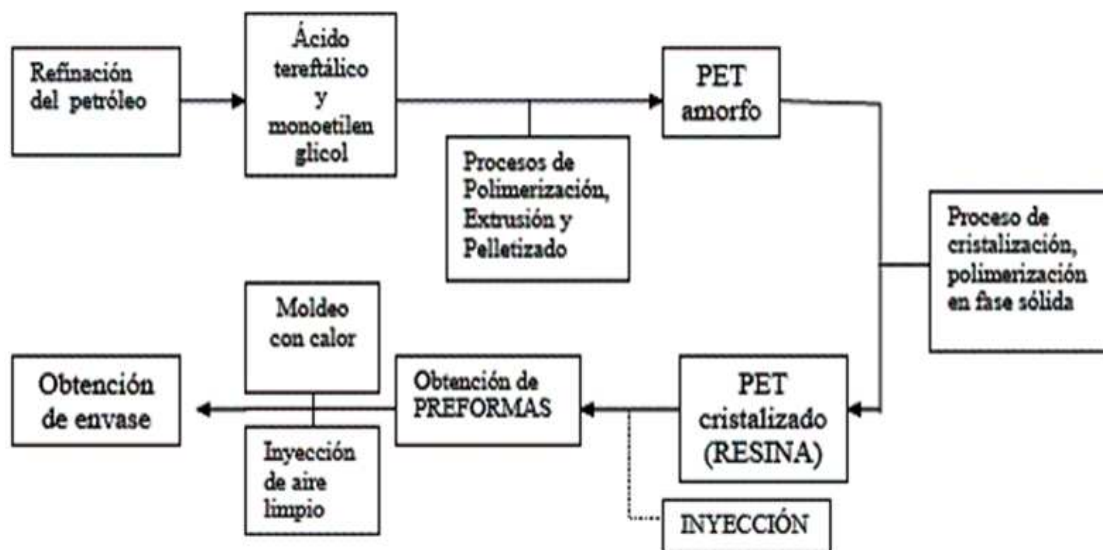
$$\text{Area elemento} = 2 * 3 \text{ cm} * 37 \text{ cm} = 222 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area total} = 222 \frac{\text{cm}^2}{\text{elemento}} * 12320 \text{ elementos} = 2,735,040 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area total} = 2,735,040 \text{ cm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{10,000 \text{ cm}^2}$$

$$\text{Area total} = 273.5 \text{ m}^2$$

10.4 Diagrama de flujo de producción del PET



MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Datos Básicos y Descripción de la Planta.

Capacidad de Diseño.

La unidad de filtros percoladores diseñados permiten tratar hasta un máximo de 0.01 litros por segundo de agua residual de origen domestico, que corresponde a una casa de habitación de 6 miembros.

Tipo de Planta.

La planta diseñada corresponde a la tecnología denominada Filtros Biológicos o Filtros Percoladores, con funcionamiento hidráulico por medio de gravedad, es decir que no necesita de ninguna operación por medio de dispositivos eléctricos.

Calidad de agua a tratar.

Esta unidad está diseñada para tratar aguas residuales de origen domestico únicamente.

Características y ventajas de la planta.

La unidad de tratamiento corresponde a al tratamiento primario de un sistema de tratamiento de aguas residuales

Esta construida a partir de barriles metálicos protegidos con plástico de espesor medio para evitar la corrosión.

El elemento filtrante es en base a Polietileno de Tereftalato (PET), diseñado para que provea de un área de contacto alta y además posea una permeabilidad suficiente que evite su obstrucción.

El empleo de un material plástico evita que este pierda su cuerpo y se convierta en sólidos sedimentables que afecten el proceso.

La construcción en tres fases de dos metros cada una, permiten un mejor control del proceso.

Se funcionamiento es en base a un caudal constante controlado por medio de una válvula de paso.

Descripción de la planta.

Las aguas residuales provenientes de la colonia Aurora II ingresan al canal sedimentador, desde aquí son desviadas a los diferentes tipos de unidades de tratamiento primario presentes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Arturo Pazos, siendo uno de ellos la unidad de Filtros Biológicos a base de desechos PET.

A la entrada del filtro se colocó un dispositivo de distribución del agua para provocar mayor esparcimiento sobre el área de contacto.

La unidad cuenta con un filtro percolador de 6 metros de altura dividido en tres secciones de 2 metros cada una, que se interconectan por medio de tubería de PVC de 1 pulgada de diámetro.

Luego de el paso a través del filtro percolador, el efluente es llevado al sedimentador secundario para un segundo tratamiento.

Bases de Cálculo

Caudal de tratamiento máximo:	0.04 l/s
Tiempo de retención estimado:	45 segundos
Energía utilizada:	Gravedad
Operaciones ejecutadas:	Filtración biológica
Temperatura:	Ambiente
Elemento filtrante:	Desechos PET
Tipo de flujo:	Vertical
Forma del filtro:	Circular
Altura:	6 metros
Diámetro:	58 centímetros
Fluido de contacto:	Agua residual de origen domestico
Material de construcción:	Metal y concreto

Puesta en marcha.

Verificar que el agua residual está llegando al sedimentador primario.

Abrir la válvula de control y calibrarla para un caudal de 0.01 l/s por medio de un aforo volumétrico.

Verificar el tiempo de retención de la planta.

Operación y Control.

La operación de la planta es de flujo continuo, lo que requiere de únicamente de un monitoreo adecuado a fin de verificar que no exista obstrucción en la entrada a cada fase producto de sólidos de gran tamaño que no se retuvieron en el canal de rejas y/o sedimentador primario, además de hojas caídas de los arboles cercanos.

Mantenimiento general.

Para asegurar una adecuada operación de la planta y prolongar la vida útil de los elementos que la componen se recomiendan las siguientes actividades de mantenimiento:

Se debe evitar a toda costa que ingresen elementos extraños como hojas, palos, a los filtros vía el sedimentador y/o canal de rejas, razón por la cual recomendamos la instalación inmediata de mallas cuando estas se dañen.

Cada día se debe limpiar la base de los filtros para evitar la obstrucción por hojas u otros objetos extraños.

Cada dos años se debe retocar la pintura exterior de los filtros.

Cada año verificar la altura del medio filtrante y rellenar en caso de ser necesario.

Cada año realizar análisis físico, químico y bacteriológico a la entrada y salida del filtro para conocer su eficiencia.

**ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HÍDRICOS (ERIS)**

PLANTA DE TRATAMIENTO ARTURO PAZOS

Hoja de mantenimiento

Unidad de tratamiento: Filtros percoladores a base de PET

Fecha: _____

Datos de operación:

Caudal: _____ Hora: _____

Temperatura: _____ Potencial de Hidrógeno: _____

Oxígeno Disuelto: _____

Datos de laboratorio:

DBO₅: _____ DQO: _____

Sólidos Sedimentables: _____ Nitritos: _____

Nitratos: _____ Sulfatos: _____

Coliformes fecales: _____ Coliformes totales: _____

OPERADOR: _____

ANALISTA DE LABORATORIO: _____

OBSERVACIONES: _____
