



Una formación de calidad
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias
15 al 18 de Septiembre de 2015

ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE MEMBRANAS DE MICROFILTRACIÓN A LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

Darío Roncancio Parra

**Universidad La Gran Colombia
Bogotá, Colombia**

Resumen

En Colombia se requieren 900 plantas de tratamiento de aguas residuales, puesto que, actualmente se encuentra solamente el 9% de los procesos de tratamiento de aguas residuales que requiere actualmente el país. Por este motivo se plantea implementar un tratamiento terciario en las plantas de tratamiento del país y para futuros proyectos de aguas residuales, con el fin de garantizar un vertimiento de mejor calidad y proteger los recursos hídricos del territorio nacional. El método estudiado en esta investigación es un proceso de filtración por medio de membranas, logrando retener la mayor cantidad de sólidos y materia orgánica presente en este tipo de agua. Se analizaron los parámetros como: DBO, DQO, color, sólidos, conductividad, temperatura, pH, olor y coliformes totales. A su vez, se analizaron las características hidráulicas en las cuales se observa el caudal de permeado, el flujo de permeado, la carga hidráulica, tiempo de retención hidráulica y presión. Con los parámetros analizados a través de la planta piloto de microfiltración se determinó que en las plantas de tratamiento de los municipios de Chía y Madrid no son aptas en este momento para aplicar un tratamiento terciario, puesto que no cumple estas como un tratamiento secundario.

Palabras clave: tratamiento terciario de aguas residuales; vertimiento; parámetros; Colombia

Abstract

In Colombia 900 plants in wastewater treatment are required, since, is currently only 9% of the processes of wastewater treatment currently requires the country. For this reason it is proposed to implement a tertiary treatment at the treatment plants in the country and for future wastewater projects, in order to ensure a better quality dumping and

protect water resources of the country. The method studied in this research is a filtration process through membranes, achieving retain as much of solids and organic matter present in such water. BOD, COD, color, solids, conductivity, temperature, pH, and total coliforms smell: the parameters as analyzed. In turn, the hydraulic characteristics in which the permeate flow rate, permeate flow, the hydraulic load, hydraulic retention time is observed and analyzed pressure. The parameters analyzed through microfiltration pilot plant were determined that treatment plants in the municipalities of Chia and Madrid are not suitable at this time to apply tertiary treatment, since it does not meet these as a secondary treatment.

Keywords: *tertiary wastewater treatment; discharge; parameters; Colombia*

1. Introducción

Actualmente Colombia requiere una cierta cantidad de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en sus municipios, y las pocas plantas existentes no se encuentran cumpliendo con lo establecido por las normas nacionales e internacionales, provocando con esto la contaminación de los cuerpos hídricos del territorio nacional. Un ejemplo de esto es el río Bogotá, en el cual no se encuentra un sistema adecuado de tratamiento de los vertidos realizados al mismo y los existentes no están siendo bien manipulados ni operados adecuadamente.

Las membranas de microfiltración son un sistema de tratamiento de agua potable, que es normalmente utilizado para la remoción de sólidos suspendidos en el agua. En algunas plantas de tratamiento de aguas residuales se ha implementado este sistema como mecanismo de pulimiento a este tipo de agua.

Por medio de un proceso de investigación se realizó el estudio de la aplicación de las técnicas de microfiltración a los sistemas de tratamiento terciario de aguas residuales en municipios de Colombia, realizando los respectivos ensayos por medio de una planta piloto construida. Para esto se identificaron los parámetros físicos, químicos y biológicos de este tipo de aguas, analizados bajo las normativas que se exigen para el control adecuado de este tipo de plantas en el país. Específicamente se analizaron muestras tomadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Echavarría en el municipio de Madrid, Colombia, con el fin de verificar la eficiencia de las membranas de microfiltración.

A continuación se explica brevemente los materiales y métodos, los cuales consisten en la descripción de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales. La descripción de la planta de piloto de membranas de filtración y la descripción de las membranas empleadas para los laboratorios. En los resultados, se presentan los valores obtenidos a través de los laboratorios realizados, con el fin de verificar la eficiencia de las membranas.

2. Materiales y métodos

2.1. Características físicas

Sólidos Suspendidos Totales (SST): los SST se determinan como la cantidad de material retenido después de realizar la filtración de un determinado volumen de muestra (Orozco y Salazar, 1987).

Sólidos Sedimentables (SSD): la determinación de los sólidos sedimentables es de gran importancia en el tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas al permitir la determinación de la eficiencia de los procesos de sedimentación. A diferencia de los demás sólidos que presentan unidades en mg/L, este parámetro se mide en unidades de mL/L. Es la cantidad de materia que sedimenta de una muestra en periodo de tiempo (Romero, 1999).

Olor: Los olores son producidos a través de los gases liberados durante el proceso de oxidación de la materia orgánica. El olor que genera el agua residual es desagradable, pero al mismo tiempo es más tolerable frente al agua residual séptica (Metcalf y Eddy, 2003).

Temperatura: En función de la situación geográfica la temperatura media anual del agua residual varía entre 7°C y 30°C, en regiones frías la temperatura oscila entre 7°C y 18°C y en regiones cálidas éste factor oscila entre los valores de 13°C y 30°C (Metcalf y Eddy, 2003).

Color: El color es un indicativo de la edad de las aguas residuales. Cuando estas son frescas su color es grisáceo, pero a medida que los compuestos orgánicos son desdoblados por las bacterias y condiciones se tornan en anaeróbicos, su color cambia a negro. El *color aparente* es causado por sólidos suspendidos en las aguas negras, mientras que el *color verdadero* es por causa de las sustancias disueltas y coloidales presente en éstas (Crites, 2000).

Conductividad: La conductividad eléctrica (CE) del agua es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica, transportada por iones en solución. El aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad (Metcalf y Eddy, 2003).

2.2. Características químicas

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): la DBO se define como la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias en el proceso de estabilización de la materia orgánica en descomposición bajo condiciones anaeróbicas. Esta materia sirve de alimento a las bacterias, las cuales derivan energía del proceso de descomposición u oxidación (Crites, 2000).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): la DQO es una prueba ampliamente utilizada para determinar el contenido de materia orgánica de las aguas residuales.

pH. El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de vida biológica es relativamente estrecho, en general entre 5 y 9 (Crites, 2000).

2.3. Características biológicas

Coliformes totales: se definen como todas las bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan las lactosas a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en 24 horas (Romero, 1998; Carrillo y Lozano, 2008).

2.4. Teoría y descripción de las membranas

Configuraciones del módulo. La unidad de operación en la que se disponen las membranas para su utilización se denominan o se conoce como módulo. Esta unidad de trabajo consta de las membranas, las estructuras de soporte de la presión, las puertas de entrada de alimentación y salida de la concentración y de puntos de extracción de permeado. Los cuatro tipos principales del módulo que se encuentran en el mercado son: placas y bastidor, arrollamiento espiral, tubular y de fibra hueca (Mallwialle, Odendaal, y Wiesner, 1998).

Clasificación de acuerdo a su naturaleza. Las membranas sintéticas pueden realizarse a partir de un gran número de diferentes materiales: orgánicos (polímeros) o inorgánicos (metales, cerámica, vidrio, entre otros) (Mallwialle, Odendaal, y Wiesner, 1998).

Clasificación según su geometría. Las membranas pueden prepararse en dos formas geométricas: plana y cilíndrica (Mallwialle, Odendaal, y Wiesner, 1998).

Microfiltración (MF). La microfiltración es el proceso más antiguo de las técnicas de filtración por membranas. Es el proceso más "libre", puesto que, este proceso no requiere de pre-tratamiento de filtración, teniendo en cuenta que el tamaño de sus poros se encuentra entre 0,05µm a 5µm. En consecuencia de su tamaño se utiliza especialmente para la eliminación de partículas, microbios y se puede manipular a través de presiones ultra bajas (Mallwialle, Odendaal, y Wiesner, 1998; Metcalf y Eddy, 2014).

2.5. Construcción de la Planta piloto

Para este proceso de investigación se empleó una planta piloto diseñada y construida por el investigador y un técnico con años de experiencia en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

El proceso utilizado para la construcción de la planta piloto fue el siguiente:

1. Se instalaron los tanques de almacenamiento de agua en la base empleada para la planta piloto, para esto se emplearon ángulos en acero, con el fin de sostener los tanques y no permitir el movimiento de los mismos.

2. Se instalaron dos bombas centrífugas para la planta piloto. En la bomba número 2 que suministra agua a la última membrana se instaló una base metálica para poder realizar los respectivos empates con los tanques de agua filtrada.
3. Se instalaron los filtros utilizados en el proceso de investigación en una base de 160 X 60 cm.
4. Se realizaron los respectivos empates de tuberías entre los tanques a las bombas; de las bombas a las membranas de microfiltración de tratamiento de aguas residuales, y de los filtros a los tanques. Para este proceso se empataron algunos alivios, con el fin de bajar la presión y utilizar un proceso de doble reutilización del agua que pasa a través de la tubería.
5. Antes de que el agua residual llegara al proceso de filtración, se ubicaron dos manómetros, con el propósito de medir las presiones que utilizan las bombas y de esta forma medir la presión que puede tener el sistema y a su vez, conocer la mejor presión para este tipo técnicas de membranas.
6. Por último, se proporcionaron dos baldes de 12L para realizar procesos de pre-dosificación y dosificación de cloro en el agua residual, con el fin de realizar procesos de desinfectar el agua residual y ayudar con el proceso remoción de bacterias y cambio de color.

Como resultado final, se obtuvo la planta piloto de membranas de filtración (figura 1) empleada con sistema de aguas residuales de tratamiento terciario, con el propósito de obtener agua de mejor calidad y cumpla con lo establecido por las normas nacionales e internacionales sobre el proceso de vertimiento a los cuerpos de agua como son ríos, quebradas y lagunas.



Fig 1. Planta piloto de membranas de filtración.

3. Resultados

3.1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Echavarría.

A través de ensayos de laboratorios, se realizaron tres pruebas en tres diferentes días tomando como fuente de captación la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Echavarría. El fin de este proceso fue medir la remoción de los parámetros físicos,

químicos y biológicos escogidos en la investigación para su correspondiente análisis (los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 1). A su vez, se midieron los parámetros hidráulicos, con el fin de conocer el comportamiento hidráulico que presentan estas membranas, siendo aplicado con tratamiento terciario o un pulimiento al agua residual (los resultados se observan en la Tabla 2).

Tabla 1. Parámetros de aguas residuales obtenidos en el proceso de filtración de membranas como sistema tratamiento terciario en lagunas de oxidación de Madrid Echavarría

Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales							
Días		Primero		Segundo		Tercero	
Parámetro	Unidades	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Coliformes totales	NMP/100ml	1,27E+06	1,05E+06	2,62E+07	7,19E+06	4,05E+07	1,04E+07
Color	UPC	99	65	107	48	80	98
Conductividad	mS/cm a 25°C	1523	1528	1503	1616	1447	1453
DBO	mg/L	39	137	155	126	143	152
DQO	mg/L	475	226	239	199	227	237
olor	Descriptivo	50	0	50	0	50	25
pH		7,47	4,51	7,74	7,91	6,92	7,37
Sólidos sedimentables	mL/L	1,8	<0,1	25	<0,1	4	0,3
sólidos suspendidos totales	mg/L	60	27	212	<20	176	29
Temperatura	°C	20	23	20	24	19	22

Fuente: propia

Tabla 2. Parámetros hidráulicos obtenidos en los ensayos de laboratorio.

Parámetro hidráulicos				
Días		primer	segundo	tercero
Parámetro	unidades	valor	Valor	Valor
tiempo total	día	0,016	0,016	0,017
Primera etapa				
volumen	m ³	0,031	0,031	0,031
presión	kg/cm ²	0,2	0,2	0,2
tiempo 1° etapa	día	0,011	0,012	0,012
Caudal permeado 1° etapa	m ³ /día	2,711	2,611	2,611
Área superficial (dos primeras membranas)	m ²	0,101	0,101	0,101
carga hidráulica 1° etapa	m ³ /día*m ²	26,755	25,765	25,764
Segundo etapa				
área superficial (tercera membrana)	m ²	0,053	0,053	0,053
volumen	m ³	0,017	0,017	0,017
presión	kg/cm ²	2,500	2,500	1,800
tiempo	día	0,004	0,004	0,005
Caudal Permeado 2°etapa	m ³ /d	4,080	4,015	3,497
Carga hidráulica 2° etapa	m ³ /día*m ²	76,39	75,18	65,48

Fuente: propia

Una vez obtenidos los resultados finales del tratamiento de las muestras de aguas residuales (resultados a la salida de la planta), se realizó la comparación de estos datos con los valores máximos permitidos según establece la Resolución 0631 de 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). En la tabla 3 se observa dicha información.

Tabla 3. Comparación de la normativa nacional con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio de la PTAR Echavarría

Comparación de la normativa colombiana con los resultados obtenidos en la planta piloto			
Parámetros	Resultados a la salida	Normativa	Evaluación
Primer día			
Coliformes totales (NMP)	1,05E+06	1000	No cumple
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	27	70	cumple
Sólidos sedimentables (mL/L)	<0,1	5	cumple
Segundo día			
Coliformes totales (NMP)	7,19E+06	1000	No cumple
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	<20	70	cumple
Sólidos sedimentables (mL/L)	<0,1	5	cumple
Tercer día			
Coliformes totales (NMP)	1,039E+07	1000	No cumple
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	29	70	cumple
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,3	5	cumple

Fuente: propia

A continuación se presenta las imágenes en las que se ilustra el resultado del proceso de filtrado del agua residual a través de la planta piloto construida. En la figura 2, se ilustra el tratamiento aplicado para las muestras del primer día, al igual que en las figuras 3 y 4 se ilustra el mismo tratamiento para el segundo y tercer respectivamente.



Fig 2. Comparación del agua residual a la entrada, en la mitad del proceso y a la salida de la planta piloto en el primer día.

Fuente: propia



Fig 3. Comparación de aguas residuales desde la entrada del planta piloto hasta la salida en el segundo día.

Fuente: propia



Fig 4. Comparación de aguas residuales desde la entrada del planta piloto hasta la salida en el tercer día.
Fuente: propia

4. Análisis de Resultados

Para la muestra del primer día, se logró la remoción de Sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y coliformes totales, a través de un tiempo de retención de 23 minutos, sin embargo se obtuvo que el parámetro de los coliformes no cumple con la normativa nacional, lo cual no permite la reutilización del agua residual para esta muestra.

Por otra parte, en la muestra de agua del segundo día se cumplió el objetivo de remover la mayor cantidad de Sólidos sedimentables y sólidos suspendidos, obteniendo porcentajes de remoción superiores al 90%. En los coliformes totales, se logró un porcentaje superior al 70%, sin embargo con este valor de coliformes cumple con la normativa.

En el tercer día de ensayos de laboratorios, se lograron porcentajes de remoción similar al día anterior, sin embargo este tipo de agua residual no logra cumplir las condiciones para que pueda ser reutilizada. Una de las principales causas por las que el proceso de filtración no cumple las condiciones para la reutilización del agua residual, se debe al proceso realizado en la planta de tratamiento, puesto que presenta una gran cantidad de concentración en los parámetros utilizados.

5. Conclusiones

A través de los ensayos para la determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, se observaron notables cambios en estos, tanto positivos como negativos; sin embargo, los resultados obtenidos no son los esperados con el fin de reutilizar esta agua ni como un sistema de pulimiento.

Por medio de las membranas de filtración utilizadas en los diversos ensayos de laboratorios, se determinó que el medio filtrante de microfiltración no es aplicable a la planta de tratamiento de aguas residuales analizada en la investigación como un sistema de pulimiento.

Para concluir esta investigación, las técnicas de microfiltración no son un sistema de pulimiento de aguas residuales efectivo, dado que no garantiza la reutilización de este

tipo de agua residual. Uno de los problemas principales por lo cual las membranas no lograron cumplir como un proceso de reutilización, fueron las cantidades de concentraciones altas de propiedades físicas, químicas y biológicas que presentaba las aguas residuales tomadas para el muestreo de los laboratorios ejecutados.

Por último, las membranas de microfiltración lograron remover las dosis de sólidos presentes en las aguas residuales presentando eficiencias mayores del 80%, cumpliendo con la normativa nacional vigente. Sin embargo, el objetivo principal de un tratamiento terciario es obtener aguas para procesos de reutilización, puesto que solamente con la retención de sólidos no es posible reutilizar esta agua.

6. Referencias

Libros

- Crites, R. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. McGraw Hill, Bogotá, pp. 65-144.
- Mallwvialle, J., Odendaal, P., y Wiesner, M. (1998). Tratamiento de agua por procesos de membrana principales, procesos y aplicaciones. McGraw - Hill. Madrid, pp 470-516.
- Metcalf y Eddy. (2003). Wastewater engineering treatment and reuse. McGraw-Hill, New York, pp 93-137.
- Metcalf y Eddy. (2014). Wastewater engineering treatment and resource recovery. McGraw-Hill, New York, pp 54-102.
- Orozco, Á., y Salazar, Á. (1987). Tratamiento biológico de aguas residuales. Universidad de Antioquia, Medellín, pp. 34-82.
- Romero Rojas, J. A. (1998). Acuitratamiento por lagunas de estabilización. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, pp. 42-70.
- Romero Rojas, J. A. (1999). Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, pp. 20-35.

Tesis

- Carrillo, E. M. y Lozano, A. M. (2008). Validación de detención de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult. Pontificia Universidad Javeriana. Colombia.

Fuente Electrónica

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631 de 2015 sobre los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Consultado el 27 de mayo de 2015 en https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

Sobre los autores

Darío Roncancio Parra: Estudiante de Ingeniería Civil de Universidad La Gran Colombia.
drp1478@gmail.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)