



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación
en Desarrollo Industrial

INFORME FINAL

Desarrollo de un filtro constituido por una serie de membranas para microfiltración utilizando polietileno tereftalato (PET) reciclado, aplicado al acondicionamiento del agua.

Equipo de investigación

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus	Coordinador
Ing. Mauricio Valentino Rivera Tello	Investigador
Inga. Karen Hurtarte	Investigador

Fecha 23 de noviembre del 2016

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN AVALADORA
Centro de Investigaciones de Ingeniería

M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Inga. Lubia Cabrera de Villagrán
Coordinador del Programa de Investigación

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
Coordinador

Ing. Mauricio Valentino Rivera Tello
Investigador 1

Inga. Karen Hurtarte
Investigador 2

Partida Presupuestaria
4.8.63.6.70.
Año de ejecución: 2016

INDICE

Resumen.....	6
Abstract	7
Introducción	8
1. Marco teórico y estado del arte.....	9
1.1 Conceptos generales.....	9
1.2 Polímero	12
1.3 Polietileno tereftalato (PET).....	13
1.4 Reciclaje y reutilización del PET	15
1.5 Tamizado.....	15
1.6 Sinterización.....	16
1.7 Preparación de membranas por sinterización.....	16
2. Materiales y métodos	17
2.1 Período de la investigación	17
2.2 Tipo de investigación.....	17
2.3 Técnicas e instrumentos.....	17
2.4 Operacionalización de las variables	19
2.5 Para la evaluación estadística:	20
3. Resultados	22
3.2 Matriz de Resultados.....	26
3.3 Impacto esperado	28
4. Análisis y discusión de resultados	29
5. Conclusiones.....	32
6. Recomendación.....	33
7. Referencias y bibliografía	34
8. Apéndice.....	36
8.1 Datos	36
8.2 Fotografías.....	43

9. Orden de pago..... 49

Figuras

Figura No. 1	Estructura del Polímero.....	14
Figura No. 2	Partes por millo de CaCO_3 retenido en los filtros	23
Figura No. 3	Partes por millo de solidos retenido en los filtros.....	23
Figura No. 4	Partes por millo de PO_4^{-3} retenido en los filtros	24
Figura No. 5	Cambios en el pH del agua	24
Figura No. 6	Caída de Presión en los filtros en psi.....	25

Tablas

Tabla No. 1	Clasificación de las membranas con base en varios criterios	12
Tabla No. 2	Diseño experimental	18
Tabla No. 3	Número de pruebas	18
Tabla No. 4	Operacionalización de variables.....	19
Tabla No. 5	Análisis de varianza Dureza	20
Tabla No. 6	Análisis de varianza Solidos disueltos	21
Tabla No. 7	Análisis de varianza Fosfatos.....	21
Tabla No. 8	Análisis de varianza pH.....	21
Tabla No. 9	Capacidad filtrante de las membranas formuladas con tamaño de partícula 100	22
Tabla No. 10	Capacidad filtrante de las membranas formuladas con tamaño de partícula 140 ...	22
Tabla No. 11	Capacidad filtrante de las membranas formuladas con tamaño de partícula 200 ...	22

Desarrollo de un filtro constituido por una serie de membranas para microfiltración utilizando polietileno tereftalato (PET) reciclado, aplicado al acondicionamiento del agua.

Resumen

El propósito del proyecto fue el desarrollo de un filtro constituido por membranas para microfiltración y utilizarlo en el acondicionamiento del agua. Además darle un posible aprovechamiento al plástico reciclado proveniente de la recuperación de envases PET postconsumo. Una membrana permite que ciertas moléculas o iones pasen a través de ella, lo cual sirve como un filtro tanto molecular como físico, para retener lo que se encuentra en el agua.

El proceso para la fabricación de las membranas se inició con la molienda del plástico hasta obtener un diámetro de partícula adecuado, posteriormente se tamizó el material para utilizar los diámetros de partículas que produzcan una membrana en el rango de microfiltración.

Para la formulación de las membranas se utilizó un polímero y un inducitor de porosidad este último para ayudar a la formación de poros durante el proceso de sinterización.

Se utilizó una serie de membranas para elaborar un filtro, en una estructura de plástico como soporte mecánico y con uniones universales. Los filtros se probaron en la unidad experimental diseñada y construida específicamente para este propósito.

Se determinó la capacidad de retención en las diferentes membranas, para lo cual se midió los parámetros más relevantes en el acondicionamiento del agua, tales como la dureza y la cantidad de sólidos disueltos.

Abstract

This investigation project has the final to develop and built a membrane's filter for microfiltration in water conditioning, using recycle materials like polyethylene terephthalate (PET) from bottles and package materials. A selective membrane is a material that allow certain molecules or ions to pass through it, which serves as both molecular and physical filter to what is in the water.

The process for the manufacture of the membranes was started by milling the polyethylene terephthalate to obtain suitable particle diameter, then the material was sieved to use the particle diameters which produce a membrane in the microfiltration range.

For the formulation of the membranes a polymer and a porosity inducer was used to support the formation of pores during the sintering process.

A series of membranes were used to make a filter, a plastic structure was utilized as a mechanical support. The filters were tested in the experimental unit designed and built specifically for this purpose.

The retention capacity was determined in the different membranes for which the most relevant parameters in the conditioning of the water were measured, such as the hardness and the quantity of solids dissolved.

Introducción

Las membranas se han convertido en una parte importante en el estudio de las separaciones de compuestos. La razón radica principalmente en que la fuerza del proceso de separación es de bajo consumo de energía. Además que trabajan sin la adición de productos químicos y condiciones de proceso fáciles de manejar.

La utilización de membranas en el acondicionamiento de aguas subterráneas, superficiales o residuales ha incrementado gradualmente desde la década de 1979. El proceso de separación se basa en la utilización de las propiedades químicas y físicas de la membrana que actúa como un filtro muy específico. En este caso en particular, dejará pasar el agua mientras que retiene los sólidos suspendidos y otras sustancias. Hay varios métodos para permitir que las sustancias atraviesen una membrana. Ejemplos de estos son la aplicación de alta presión al fluido que atraviesa la membrana, diferencias de concentración y aplicación de voltaje.

La membrana funciona como una pared de separación selectiva. Ciertas sustancias pueden atravesar la membrana, mientras que otras quedan atrapadas en ella. La filtración de membrana se puede utilizar como una alternativa a la floculación, las técnicas de purificación de sedimentos, la adsorción (filtros de arena y filtros de carbón activado o intercambiadores iónicos), extracción y destilación. Hay dos factores que determinan la efectividad de un proceso de filtración de membrana: selectividad y la retención. Las cuales dependen de la membrana, al construir un filtro a base de membranas es necesario conocer qué selectividad posee y los parámetros para poder producir las membranas.

1. Marco teórico y estado del arte

1.1 Conceptos generales

Las membranas son barreras semipermeables activas o pasivas, que bajo la acción de una fuerza permite el paso de una o más especies seleccionadas de una mezcla. A las especies rechazadas se les llama retentato y a las que traspasan la membrana se les llama permeado.

Los procesos de separación por membranas son el grupo de tecnologías basadas en el transporte selectivo de uno o más componentes de una mezcla semipermeable a través de una membrana. En la separación por membranas se aprovechan diversos mecanismos de transporte asociados a propiedades físico-químicas de los compuestos a separar tales como dimensión molecular, solubilidad y afinidad química.

La mayoría de los procesos de separación por membranas utilizan unidades de flujo cruzado. En este tipo, el fluido de alimentación ingresa a la unidad paralelamente a la superficie de la membrana que realizará la separación. La fuerza cortante creada con este tipo de unidad permite eliminar sedimentos y especies retenidas acumuladas en la superficie de la membrana, como consecuencia se mejora la permeación.

En las unidades de separación de flujo tanto el flujo de alimentación como el de permeado son perpendiculares a la superficie de membrana. Estas unidades son muy poco usadas por su bajo rendimiento. Generalmente solo tiene aplicaciones en separaciones batch a nivel de laboratorio.

Para medir el rendimiento de la separación a través de la membrana se utilizan dos parámetros: la permeabilidad y la permselectividad. “La permeabilidad provee una indicación de la capacidad de la membrana para procesar el permeado.” (Hsieh, 1996). La permeabilidad y el rendimiento son directamente proporcionales. “La permselectividad es el indicador de la habilidad de la membrana de separar el permeado del retentato.” (Hsieh, 1996). Sin embargo, ambas están relacionadas, y se debe encontrar un punto de equilibrio entre ambas para que

el proceso sea económicamente factible. Por ejemplo, una membrana puede tener alta permselectividad pero baja permeabilidad, lo que va a requerir una gran cantidad de área de membrana lo cual eleva el costo inicial.

Los procesos de separación por membranas conducidos por presión más comunes utilizan como fuerza impulsora una diferencia de presión y como mecanismo de separación el tamaño del poro o partícula.

Microfiltración: trabaja a presiones bajas. Filtra las partículas en suspensión, bacterias y coloides. Tamaño de partícula entre 0.05 y 10 μ m. El rango de presión de trabajo es de 0.5 a 3 bar. Generalmente, las membranas empleadas son de tipo poroso. Entre las aplicaciones frecuentes se encuentra la separación de células de extractos fermentados, clarificación de jarabes y recuperación de químicos de lavado.

Ultrafiltración: Las membranas de ultrafiltración se pueden utilizar tanto para concentrar como para purificar compuestos de alto y mediano peso molecular.

Nanofiltración: está diseñada para conseguir separaciones de partículas de bajo peso molecular.

Ósmosis Inversa: se lleva a cabo a altas presiones. Es un proceso altamente eficiente para retener compuestos de bajo peso molecular. Para producir la separación se utiliza un tamaño de poro menor a 0.0005 μ m.

Ventajas de los procesos de separación por medio de membranas

Son procesos de bajo costo debido a que tienden a ser bajos consumidores de energía.

La separación se realiza de manera continua.

Se pueden combinar fácilmente con otros procesos de separación.

Amplia versatilidad ya que las propiedades de las membranas son variadas y pueden ser ajustadas.

No requieren de aditivos

El escalado del proceso es sencillo

Los materiales para membranas han evolucionado, los cuales se adecuan a diferentes aplicaciones. Se utilizan tanto materiales orgánicos como inorgánicos. “Entre los más importantes están los orgánicos, es decir polímeros o macromoléculas.” (Mulder, 1996).

Las membranas poliméricas constituyen el campo más amplio y avanzado de los procesos de membrana, aun cuando los polímeros utilizados para la preparación de membranas poliméricas son limitados. Esto se debe a la versatilidad que poseen.

Las propiedades de una membrana polimérica dependen fundamentalmente de dos factores: la naturaleza físico-química del polímero, que establece las posibles interacciones con los compuestos a separar, y el método de fabricación de la misma, que determina su estructura. De acuerdo a su estructura, las membranas poliméricas pueden ser porosas o densas.

En las membranas porosas las dimensiones de los poros determinan la selectividad de la membrana. En cambio, las características del polímero determinan si el mecanismo de separación es físico o químico, además de la estabilidad (química, mecánica y térmica) de la membrana. La selección del material se basa especialmente en las propiedades químicas y térmicas de este.

Existen varias técnicas de preparación de membranas porosas en el rango de la microfiltración. Entre ellas la sinterización, stretching, track-etching e inversión de fase.

A causa de las aplicaciones de la microfiltración, los materiales hidrofóbicos son muy utilizados en la preparación de estas. Entre ellos podemos mencionar: politetrafluoroetileno (PTFE), poli (fluoruro de vinilideno) (PVDF) y polipropileno isotáctico (PP). Las membranas para microfiltración de PTFE deben de ser preparadas por sinterización o stretching.

Tabla No. 1 Clasificación de las membranas con base en varios criterios

NATURALEZA	Biológicas		
	Sintéticas	Inorgánicas	Metálicas, de Vidrio, cerámicas
		Orgánicas	Porosas, Densas
		Mixtas	
ESTRUCTURA	Estructura Microscópica	Porosidad	Densas Porosas (homo y heteroporosas)
		Configuración	Simétricas, Asimétricas
		Líquidas	Soportadas, No soportadas
	Estructura Macroscópica	Laminares	
		Tubulares	
		Fibras huecas	
TRANSPORTE	Porosas	Flujo fase gaseosa	
		Flujo fase líquida	
		Difusión	
	Densas		
	De cambio iónico	Catiónico	Aniónico

Fuente: HUANG, SHAO y FENG, 2001, Sulfonation of poly(ether ether ketone) (PEEK): kinetic study and characterization.

1.2 Polímero

La palabra polímero deriva del griego poly que significa “mucho” y meres “partes”. Los polímeros son moléculas de alto peso molecular (macromoléculas), las cuales están constituidos de la repetición de unidades químicas básicas llamadas monómeros.

La estructura de los polímeros conlleva dos niveles, los cuales repercuten en diferentes propiedades de los mismos. A continuación se mencionaran solo aquellas que tengan relación con el presente proyecto. “La estructura química de los polímeros se refiere a la construcción

de la molécula individual” (Beltrán y Marcilla, 2011). Los enlaces entre cada monómero son covalentes. Sin embargo, son los sustituyentes de la cadena principal los que definen las fuerzas de cohesión entre cadenas. Esto determina propiedades importantes como la flexibilidad del material, la temperatura de transición vítrea, temperatura de fusión y cristalización. La temperatura de transición vítrea de los polímeros amorfos o la temperatura de fusión de fibra se deben al peso molecular de los mismos.

“La estructura física de los polímeros incluye el estudio de la orientación y cristalinidad, los cuales dependen de la estructura química de este. Tanto la orientación como la cristalinidad repercuten en el comportamiento del material cuando se está procesando y en su vida de servicio.” (Beltrán y Marcilla, 2011).

Los polímeros cristalinos son todos aquellos que poseen empaquetamientos de cadenas moleculares para producir una región ordenada de los mismos. Ningún polímero es completamente cristalino. Los polímeros con estructuras químicas y geométricamente regulares son aquellos que son capaces de cristalizar.

Los polímeros según su comportamiento térmico, se dividen en termoestables y termoplásticos. Los termoestables no reblandecen ni fluyen por mucho que se les aumente la temperatura, por lo tanto sufren modificaciones irreversibles por el calor. Por otro lado, los termoplásticos al ser sometidos a calor se reblandecen y fluyen. Este comportamiento los convierte en materiales moldeables por el calor cuantas veces se quiera sin que sufran alteración química irreversible al ser sólido. Son flexibles y resistentes. Por lo cual son fáciles de reciclar y reutilizar. Para ello deben de poseer estructuras lineales o poco ramificadas.

1.3 Polietileno tereftalato (PET)

Es un polímero del grupo de los poliésteres que se obtiene como resultado de una reacción de policondensación entre ácido tereftálico y etilenglicol. Según su comportamiento al calentarse forma parte de los termoplásticos. . La representación de la estructura química del monómero del PET se puede ver en la figura:

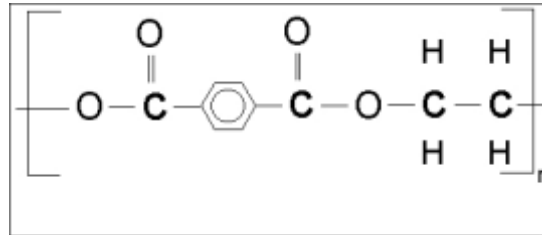


Figura No. 1 Estructura del Polímero

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El PET puede ser moldeado o procesado mediante extrusión, inyección, soplado, termoconformado, entre otros. La resina de PET absorbe humedad del ambiente por lo que previo a cualquier proceso térmico es importante eliminarla mediante secado. Para fabricar un buen producto de PET, se requiere reducir la humedad a menos de 0.004% (40 ppm).

El peso molecular de los polímeros está relacionado indirectamente con la viscosidad intrínseca (V.I.), es decir con el tamaño promedio de moléculas que definen el polímero. Bajo condiciones controladas de secado y moldeo, la pérdida de viscosidad no deberá ser mayor de 0.03 dl/g. Cualquier pérdida superior de V.I. trae como consecuencia una disminución en la transparencia de la preforma y pérdida de las propiedades mecánicas, debido a un incremento en la velocidad de cristalización.

La pérdida de la viscosidad se debe básicamente a una degradación hidrolítica ocurrida durante el estado de fusión que es donde el agua a niveles superiores de 40 ppm tiene una acción destructiva del polímero. La hidrólisis del PET es directamente proporcional al aumento de la temperatura. En la práctica, desde el punto de vista económico y de eficiencia, las mejores condiciones de secado se alcanzan entre 165°C y 170°C.

Una segunda causa de la caída de V.I. es la degradación térmica durante la fusión del polímero para inyectarlo. Por esta razón se debe emplear un perfil de temperaturas de modelo

y velocidades de corte lo más suave posible que permitan la obtención de preformas claras, transparentes y libres de distorsión.

Durante el proceso de fusión del PET se genera acetaldehído (CH_3CHO) en pequeñas cantidades. Este se genera por la degradación térmica de las moléculas de PET mientras se encuentra en estado de fusión.

1.4 Reciclaje y reutilización del PET

El PET tiene la propiedad de funcionar como una buena barrera para los gases lo cual le ha conferido una gran utilización como envase de bebidas gaseosas. Además tiene la ventaja de que pesa muy poco en comparación al del producto que contiene, aproximadamente 50 veces menos, y posee una alta resistencia mecánica. Estos factores son determinantes para la generalización de su uso como envase.

Más de 400 mil millones de botellas de plástico entran anualmente en el mercado. Por lo que el reciclaje de PET está proyectado a convertirse en una de las mayores oportunidades de negocios para toda la industria del plástico.

1.5 Tamizado

El tamizado es un método de separación de partículas que se basa solamente en la diferencia de tamaño. En el tamizado industrial se vierten los sólidos sobre una superficie perforada o tamiz, que deja pasar las partículas pequeñas, o “finos“, y retiene las de tamaños superiores, o “rechazos“. Un tamiz puede efectuar solamente una separación en dos fracciones. Estas fracciones se llaman fracciones de tamaño no especificado, porque aunque se conoce el límite superior o inferior del tamaño de las partículas que contiene, se desconoce su tamaño real. Es el método más sencillo para la clasificación granulométrica en el laboratorio y consiste en pasar el material sucesivamente por una serie de tamices o cedazos que posean orificios o mallas progresivamente decrecientes. El material que pasó a través de un tamiz y ha sido retenido en el siguiente porque sus orificios son de tamaño menor que el anterior, suele

considerarse como de tamaño igual a la media aritmética de la abertura de ambos tamices, este valor representa el "tamaño medio" o "diámetro medio" y se representa por D_m .

1.6 Sinterización

El método de sinterización consiste en el tratamiento isotérmico de material granular o en forma de polvo en un horno con atmósfera controlada, hasta una temperatura menor al punto de fusión, pero lo suficientemente alta como para permitir la adhesión (fusión) de las partículas individuales (Hurtarte, K.2015).

Una herramienta básica en la sinterización es el horno, al que se debe exigírsele un control riguroso de los tiempos de residencia, temperatura de sinterización y la naturaleza de la atmósfera circundante. Por lo que las variables de control principales en la sinterización son la temperatura y el tiempo en el que se mantiene el material adentro del horno. La temperatura utilizada debe de ser menor a la del punto de fusión, entre un 70 y 90% de esta. El tiempo de residencia de los polvos metálicos es mayor en comparación con el de los polímeros.

1.7 Preparación de membranas por sinterización

En la síntesis de membranas el método de sinterización se puede definir como el proceso que consiste en aglutinar, por efecto de una temperatura menor a la de fusión, un material granular o en polvo, con objeto de conseguir una lámina sólida más o menos porosa.

2. Materiales y métodos

La primera fase consistió en la adquisición, ubicación y adecuamiento de las instalaciones a utilizar en la sección de Tecnología de la Madera, la segunda fase se centró en la recolección y adquisición de la materia prima (polímero con los diámetros de partícula adecuado).

En la tercera fase se fabricaron las membranas de acuerdo a al modelo experimental en el Laboratorio Multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera, la cuarta fase consistió en la elaboración de los filtros y posterior prueba de retención de los analitos estudiados

2.1 Período de la investigación

La investigación se realizó en un periodo de 10 meses

2.2 Tipo de investigación

El presente proyecto es de tipo experimental. Tuvo como objetivo elaborar filtros compuesto por membranas para microfiltración de polietileno tereftalato (PET) reciclado, con un soporte que le añade resistencia mecánica. Se midieron parámetros definidos en la unidad experimental construida donde se obtuvieron los valores de las propiedades fisicoquímicas del agua.

2.3 Técnicas e instrumentos

En cuanto a la fabricación de las membranas:

- El diámetro de partícula se logró, en principio realizando la operación de molienda y tamizaje, con esto se determinó el tamaño máximo, dado por el tamaño del tamiz.
- La relación entre el polímero y el inducido de porosidad fue basado en el peso de las dos materias.
- De la materia prima se determinó el tiempo para llegar al punto de fusión de adhesión de las partículas para cada tamaño de partícula. Dicho dato, asociado con la humedad

relativa de la materia prima, se utilizó para estimar el tiempo que deben estar en el horno las membranas.

- Lo anterior determina las condiciones bajo las que fueron fabricadas las membranas que posteriormente fueron ensambladas para hacer un filtro. El filtro fue la unidad de ensayo.

Unidad de ensayo: La unidad de ensayo fue el filtro. Se obtuvieron 9 filtros diferentes con 5 repeticiones para tener un total de 45 filtros. Cada uno conformados por 3 membranas de la siguiente manera:

Tabla No. 2 Diseño experimental

Membranas		Total de membranas por filtro	Total de membranas	Total de filtros
Formulación (PET/inducidor porosidad)	Tamaño de partícula			
60%	100, 140, 200	3	45	15
70%	100, 140, 200	3	45	15
80%	100, 140, 200	3	45	15
Total			135	45

Identificación de los filtros: se denominarán F-T, donde F es el porcentaje del polímero y T es el tamaño de tamiz, así: 70-100, el filtro que tiene 70% de PET y partículas que pasan por el tamiz 100.

Número de repeticiones:

El diseño experimental fue de tipo factorial construyendo cinco filtros para poder hacer cinco repeticiones. De esta manera se realizó cada prueba partiendo desde la condición inicial del filtro. Es así como se fabricaron cuarenta y cinco filtros o unidades experimentales.

Tabla No. 3 Número de pruebas

No. de Filtros (f)	Cantidad de Pruebas químicas (p)	Repeticiones (r)	TOTAL= f*r*p
9	4	5	180

2.4 Operacionalización de las variables

Tabla No. 4 Operacionalización de variables

Obj	Variable	Definición teórica de la variable	Definición operativa	Técni	Instrumento	Escala	Dimen
2.2.1	Tiempo	Magnitud física con la que se mide la duración de acontecimientos	La duración que estarán las membranas dentro del horno.	Medición directa	Cronómetro	Razón	Minutos
	Punto de fusión	La temperatura a la cual se encuentra el equilibrio de fases sólido-líquido	La temperatura a la cual es estado sólido del plástico cambia a un estado físico	Medición directa	Termómetro infrarojo	Intervalo	Grados Celsius
2.2.2	Diámetro de partícula	Es el diámetro de las esferas que posee el mismo volumen de la partícula que se desea caracterizar.	Es el tamaño máximo del diámetro de los granos que pasan por el tamiz utilizado	Tamizado	Tamiz	Razón	Número de tamiz
	Porcentaje inductor	Relación entre dos cantidades, expresados como fracción.	Relación peso de plástico reciclado y el peso total.	Pesado	Balanza	Razón	%
2.2.3	Presión	Es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie	Es la presión que llevará el fluido antes y después de pasar por el sistema.	Medición directa	Manómetro	Razón	Pa
	Porcentaje de retención	Porcentaje de la tasa de retención del soluto por la membrana.	Cantidad de analito retenido por la membrana en relación a la cantidad inicial	Medición indirecta	Fórmula	Razón	%
2.2.4	Dureza total	Es la concentración sales y minerales de calcio y magnesio.	Concentración al inicio y concentración al final	Medición directa	Kit de análisis rápido	Razón	ppm
	Fosfatos	Son las sales o los ésteres del ácido fosfórico	Concentración al inicio y concentración al final	Medición directa	Kit de análisis rápido	Razón	ppm
	Sólidos totales disueltos	El contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas	Concentración al inicio y concentración al final del agua de alimentación a los filtros.	Medición directa	Kit de análisis rápido	Razón	ppm
	pH	Coefficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa	Acides del agua utilizada en las pruebas	Medición directa	Potenciómetro	Razón	Adimensional

2.5 Para la evaluación estadística:

2.5.1 Base de datos

- Se estructuró una base de datos, con las siguientes variables:
 - Formulación: variable que identifica el material ensayado. Se realizó la siguiente identificación para los productos
 - 0 = Membrana con 60% plástico, Tamiz 100
 - 1 = Membrana con 70% plástico, Tamiz 100
 - 2 = Membrana con 80% plástico, Tamiz 100
 - 3 = Membrana con 60% plástico, Tamiz 140
 - 4 = Membrana con 70% plástico, Tamiz 140
 - 5 = Membrana con 80% plástico, Tamiz 140
 - 6 = Membrana con 60% plástico, Tamiz 200
 - 7 = Membrana con 70% plástico, Tamiz 200
 - 8 = Membrana con 80% plástico, Tamiz 200
 - pH: valor obtenido en la prueba, adimensional.
 - Fosfatos: valor obtenido en la prueba, partes por millón.
 - Dureza: valor obtenido en la prueba, partes por millón.
 - Sólidos disueltos totales: valor obtenido en la prueba, partes por millón.
 - Caudal: valor fijo para todas las pruebas, litros por minuto.
 - Caída de presión: valor registrado en la pruebas de los filtros, psi.

2.5.2 Cálculo de estadísticos descriptivos

Tabla No. 5 Análisis de varianza Dureza

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad ad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	19373.37	2	9686.68	68.700	5.135E-13	3.259
Columnas	370.71	2	185.35	1.315	2.812E-01	3.259
Interacción	289.68	4	72.42	0.514	7.261E-01	2.634
Dentro del grupo	5076.00	36	141.00			
Total	25109.77	44				

Fuente: Datos calculados

Tabla No. 6 Análisis de varianza Solidos disueltos

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	174.11	2	87.05	0.424	0.657	3.259
Columnas	47.08	2	23.54	0.115	0.892	3.259
Interacción	3942.24	4	985.56	4.804	0.003	2.634
Dentro del grupo	7384.86	36	205.13			
Total	11548.29	44				

Fuente: Datos calculados

Tabla No. 7 Análisis de varianza Fosfatos

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	174.11	2	87.05	0.4243	0.65740	3.259
Columnas	47.08	2	23.54	0.1147	0.89190	3.259
Interacción	3942.23	4	985.55	4.8044	0.00329	2.633
Dentro del grupo	7384.86	36	205.135			
Total	11548.29	44				

Fuente: Datos calculados

Tabla No. 8 Análisis de varianza pH

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	0.124	2	0.062	0.787	0.463	3.259
Columnas	0.067	2	0.034	0.426	0.656	3.259
Interacción	1.304	4	0.326	4.129	0.007	2.634
Dentro del grupo	2.842	36	0.079			
Total	4.338	44				

Fuente: Datos calculados

3. Resultados

Tabla No. 9 Capacidad filtrante de las membranas formuladas con tamaño de partícula 100

TEMPERATURA DE TRABAJO: 24.98°C		DUREZA		SOLIDOS DISUELTOS		pH		FOSFATOS		DP	
(%)	(mgCaCO ₃ /L)	±d	(mg/L)	±d	pH	±d	(mg/L)	±d	(PSI)	±d	
60	60.00	9.38	29.74	3.63	0.01	0.06	12.00	0.00	4.0	0.5	
70	53.85	8.67	2.52	12.64	-0.05	0.71	8.45	1.78	4.0	0.5	
80	70.40	7.26	0.98	2.93	-0.51	0.08	7.60	0.89	4.0	0.5	

Fuente: Datos calculados

Tabla No. 10 Capacidad filtrante de las membranas formuladas con tamaño de partícula 140

TEMPERATURA DE TRABAJO: 24.88°C		DUREZA		SOLIDOS DISUELTOS		pH		FOSFATOS		DP	
(%)	(mgCaCO ₃ /L)	±d	(mg/L)	±d	pH	±d	(mg/L)	±d	(PSI)	±d	
60	54.40	11.52	8.06	26.88	-0.022	0.04	9.20	1.78	3.0	0.5	
70	51.20	29.03	13.74	22.51	-0.054	0.15	11.62	1.21	5.0	0.5	
80	52.00	2.82	10.64	2.23	-0.336	0.21	7.60	0.89	7.0	0.5	

Fuente: Datos calculados

Tabla No. 11 Capacidad filtrante de las membranas formuladas con tamaño de partícula 200

TEMPERATURA DE TRABAJO: 24.73°C		DUREZA		SOLIDOS DISUELTOS		pH		FOSFATOS		DP	
(%)	(mgCaCO ₃ /L)	±d	(mg/L)	±d	pH	±d	(mg/L)	±d	(PSI)	±d	
60	14.60	2.60	29.14	2.576	-0.04	0.13	10.80	1.09	2.6	0.54	
70	12.00	6.00	7.76	15.529	-0.32	0.40	11.60	4.09	6.8	1.64	
80	15.20	5.11	4.00	13.478	0.07	0.40	10.80	1.09	7.8	1.09	

Fuente: Datos calculados

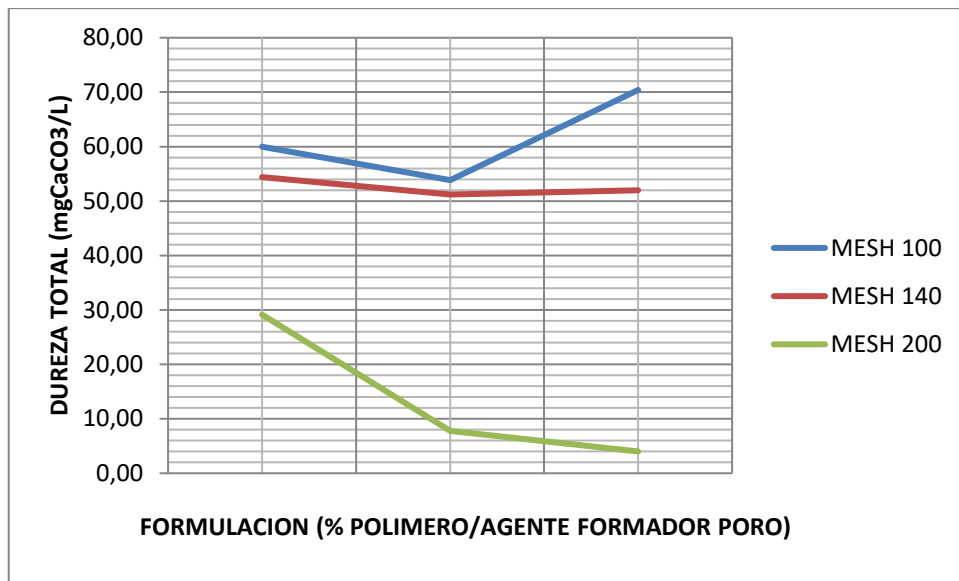


Figura No. 2 Partes por millo de CaCO₃ retenido en los filtros
Fuente: Elaboración propia, 2016.

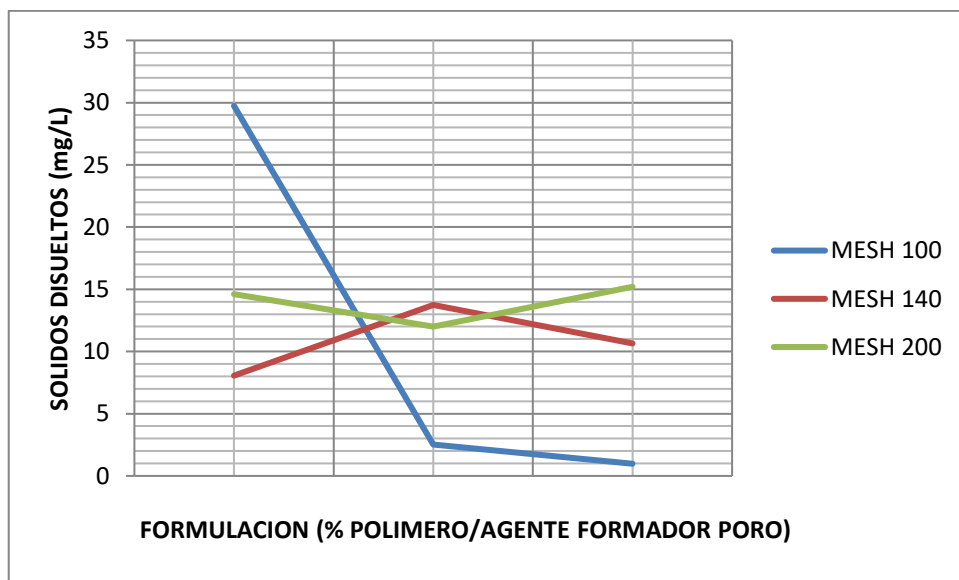


Figura No. 3 Partes por millo de solidos retenido en los filtros
Fuente: Elaboración propia, 2016.

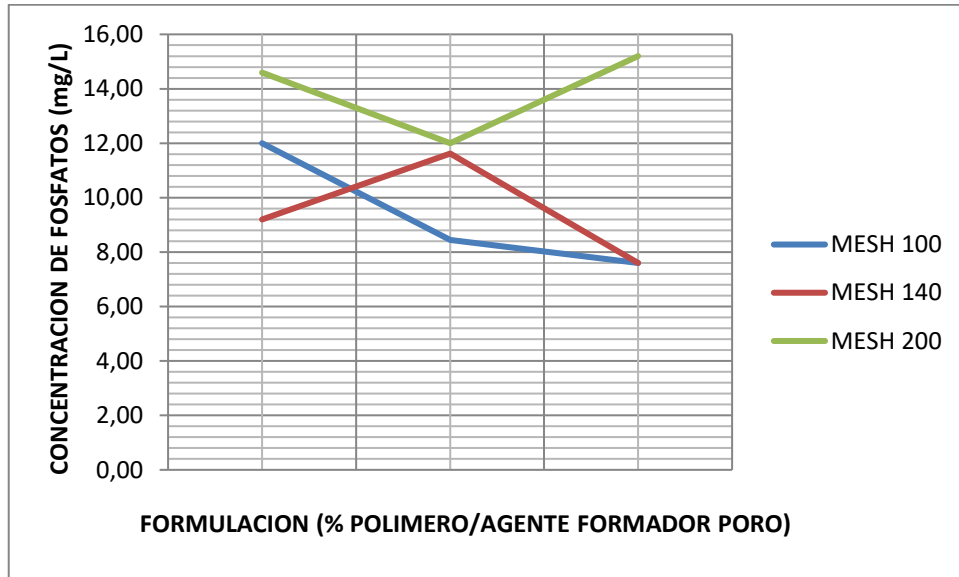


Figura No. 4 Partes por millo de PO_4^{-3} retenido en los filtros
Fuente: Elaboración propia, 2016.

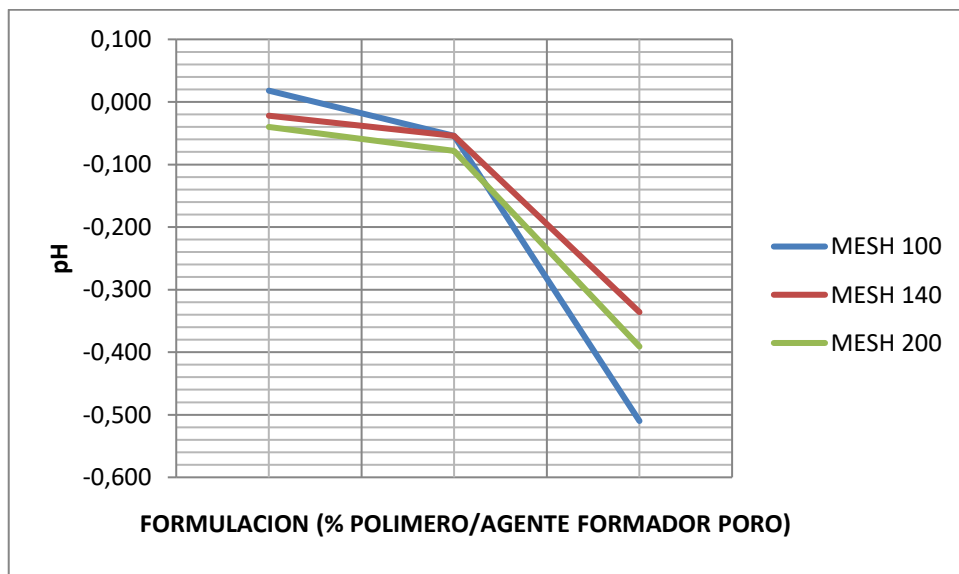


Figura No. 5 Cambios en el pH del agua
Fuente: Elaboración propia, 2016.

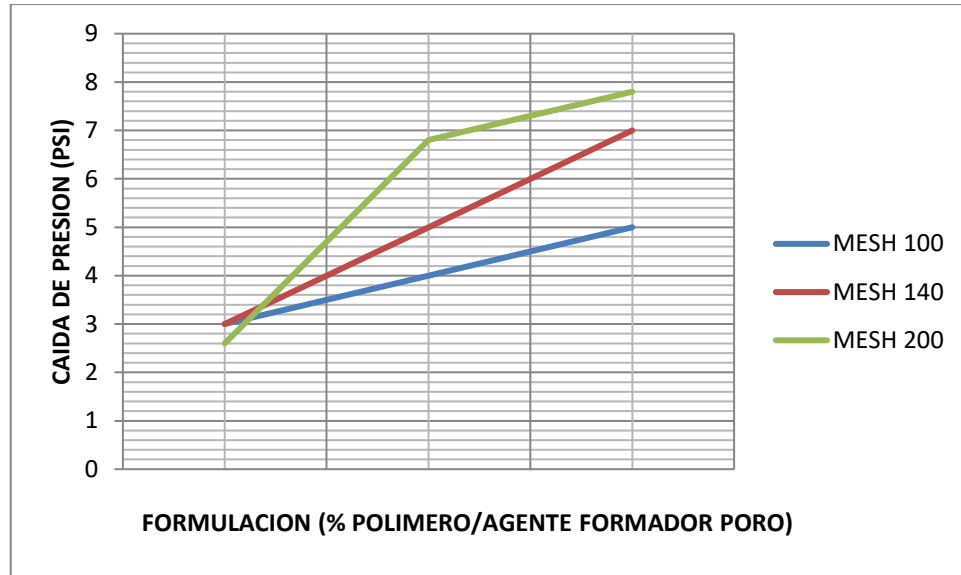


Figura No. 6 Caída de Presión en los filtros en psi

Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.2 Matriz de Resultados

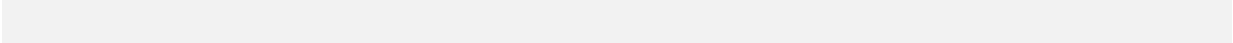
En esta matriz se presentan los productos, resultados o hallazgos planteados en la propuesta de investigación y los resultados concretos: la caracterización de la materia prima y las partes por millo de lo retenido en los filtros y la caída de presión en los filtros.

Objetivo Específico	Resultado Esperado	Resultado Obtenido																																						
<p>Determinar las características fisicoquímicas de la materia prima.</p>	<p>contenidos de humedad de la materia prima, densidad, tiempo y temperatura de sinterización</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Parámetro</th> <th colspan="2">Valor</th> </tr> <tr> <th>Sal</th> <th>PET</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Humedad (%)</td> <td>0.5</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>Densidad (g/cc)</td> <td>1.25 g/cm³</td> <td>2.10 g/cm³</td> </tr> <tr> <th>Parámetro</th> <th colspan="2">Valor</th> </tr> <tr> <td>Tiempo de sinterización</td> <td colspan="2">12 min</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de sinterización</td> <td colspan="2">275°C</td> </tr> </tbody> </table>	Parámetro	Valor		Sal	PET	Humedad (%)	0.5	1.5	Densidad (g/cc)	1.25 g/cm ³	2.10 g/cm ³	Parámetro	Valor		Tiempo de sinterización	12 min		Temperatura de sinterización	275°C																			
Parámetro	Valor																																							
	Sal	PET																																						
Humedad (%)	0.5	1.5																																						
Densidad (g/cc)	1.25 g/cm ³	2.10 g/cm ³																																						
Parámetro	Valor																																							
Tiempo de sinterización	12 min																																							
Temperatura de sinterización	275°C																																							
<p>Evaluar el efecto de la variación en la formulación y en el tamaño de partícula utilizado de polietileno tereftalato (PET) sobre la capacidad filtrante de la membrana.</p>	<p>Características del permeado obtenido: Dureza, sólidos totales, pH, fosfatos, en función de la proporción sal-polímero en la formulación.</p>	<p>DUREZA</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">FORMULACION</th> <th colspan="3">TAMAÑO PARTICULA</th> </tr> <tr> <th>100</th> <th>140</th> <th>200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60</td> <td>60.00</td> <td>54.40</td> <td>29.14</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>53.85</td> <td>51.20</td> <td>7.76</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>70.40</td> <td>52.00</td> <td>4.00</td> </tr> </tbody> </table> <p>SOLIDOS DISUELTOS</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">FORMULACION</th> <th colspan="3">SOLIDOS DISUELTOS</th> </tr> <tr> <th>100</th> <th>140</th> <th>200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60</td> <td>29.74</td> <td>8.06</td> <td>14.60</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>2.52</td> <td>13.74</td> <td>12.00</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>0.98</td> <td>10.64</td> <td>15.20</td> </tr> </tbody> </table>	FORMULACION	TAMAÑO PARTICULA			100	140	200	60	60.00	54.40	29.14	70	53.85	51.20	7.76	80	70.40	52.00	4.00	FORMULACION	SOLIDOS DISUELTOS			100	140	200	60	29.74	8.06	14.60	70	2.52	13.74	12.00	80	0.98	10.64	15.20
FORMULACION	TAMAÑO PARTICULA																																							
	100	140	200																																					
60	60.00	54.40	29.14																																					
70	53.85	51.20	7.76																																					
80	70.40	52.00	4.00																																					
FORMULACION	SOLIDOS DISUELTOS																																							
	100	140	200																																					
60	29.74	8.06	14.60																																					
70	2.52	13.74	12.00																																					
80	0.98	10.64	15.20																																					

		<p>FOSFATOS</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">FOSFATOS</th> </tr> <tr> <th>FORMULACION</th> <th>100</th> <th>140</th> <th>200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60</td> <td>12.00</td> <td>9.20</td> <td>10.80</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>8.45</td> <td>11.62</td> <td>11.60</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>7.60</td> <td>7.60</td> <td>10.80</td> </tr> </tbody> </table> <p>PH</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PH</th> </tr> <tr> <th>FORMULACION</th> <th>100</th> <th>140</th> <th>200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60</td> <td>0.018</td> <td>-0.022</td> <td>-0.040</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>-0.054</td> <td>-0.054</td> <td>-0.078</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>-0.510</td> <td>-0.336</td> <td>-0.391</td> </tr> </tbody> </table>	FOSFATOS				FORMULACION	100	140	200	60	12.00	9.20	10.80	70	8.45	11.62	11.60	80	7.60	7.60	10.80	PH				FORMULACION	100	140	200	60	0.018	-0.022	-0.040	70	-0.054	-0.054	-0.078	80	-0.510	-0.336	-0.391
FOSFATOS																																										
FORMULACION	100	140	200																																							
60	12.00	9.20	10.80																																							
70	8.45	11.62	11.60																																							
80	7.60	7.60	10.80																																							
PH																																										
FORMULACION	100	140	200																																							
60	0.018	-0.022	-0.040																																							
70	-0.054	-0.054	-0.078																																							
80	-0.510	-0.336	-0.391																																							
<p>Determinar los parámetros físicos sobre los parámetros de desempeño de los filtros con las membranas fabricadas</p>	<p>Caudales de operación, caídas de presión, máxima presión de operación</p>	<p>CAIDA DE PRESION</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">DELTA P</th> </tr> <tr> <th>FORMULACION</th> <th>100</th> <th>140</th> <th>200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60</td> <td>3</td> <td>3.0</td> <td>2.6</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>4</td> <td>5.0</td> <td>6.8</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>5</td> <td>7.0</td> <td>7.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>Caudal de operación 0.125 litros por minuto</p>	DELTA P				FORMULACION	100	140	200	60	3	3.0	2.6	70	4	5.0	6.8	80	5	7.0	7.8																				
DELTA P																																										
FORMULACION	100	140	200																																							
60	3	3.0	2.6																																							
70	4	5.0	6.8																																							
80	5	7.0	7.8																																							

3.3 Impacto esperado

Los resultados obtenidos en el presente proyecto muestran que hay un potencial en la utilización de filtros constituidos de membranas, elaboradas a partir de teraftalato de polietileno reciclado, para el acondicionamiento de agua. Si se considera la problemática tanto ambiental como de requerimiento de agua potable que actualmente atraviesa nuestro país, y el desaprovechamiento de los desechos generados en los centros urbanos, se puede establecer un impacto positivo sobre esos sectores ya que se tendrá una opción más para el aprovechamiento del polímero reciclado.



4. Análisis y discusión de resultados

Para cumplir los objetivos del proyecto se planteó un diseño experimental consistente en la evaluación de tres formulaciones de polímero y agente formador de poro, siendo estas sesenta, setenta y ochenta por ciento, variando el tamaño de partícula tanto del polímero como del agente formador de poros en valores de mesh de 100, 140 y 200. Se construyó un prototipo de filtro constituido por tres membranas colocadas en serie, soportadas mecánicamente por un dispositivo de acero inoxidable dentro de un contenedor de PVC. Este contenedor se ajustó por medio de bridas al banco hidráulico especialmente diseñado y construido para la evaluación. Por medio de pruebas preliminares se determinó que el caudal máximo para el funcionamiento de la unidad de evaluación fue de 0.75 litros por minuto, a una presión máxima de 15 psi. Se realizaron cinco repeticiones para un total de cuarenta y cinco filtros evaluados manteniendo el caudal a un valor constante.

El agua utilizada para la evaluación de la capacidad filtrante de los filtros fue especialmente acondicionada para mantener la cantidad de carbonatos, sólidos totales disueltos, fosfatos y pH a un nivel fijo que sirviera como línea base para las mediciones.

DUREZA

En la gráfica se observa que la capacidad de retención de carbonatos aumenta a medida que se incrementa la cantidad de polímero en relación al agente formador de poro para los tamaños de partícula de 100 y 140; contrario a este comportamiento se observa que para un tamaño de partícula más pequeño el filtro pierde la capacidad de retención de carbonatos .

La disminución en el área efectiva de flujo debido a los poros provoca un aumento en la velocidad promedio del fluido restando capacidad de retención en la membrana. Esto se debe a la variación en la cantidad de fluido en relación al diámetro efectivo y a la proporción entre el polímero y el agente formador de poro.

SOLIDOS DISUELTOS

En el caso de los sólidos disueltos se puede observar que en las unidades filtrantes no existe una tendencia definida en la capacidad de remoción de sólidos disueltos. Se puede apreciar que el mejor comportamiento se registro cuando se utiliza un tamaño de partícula correspondiente a mesh 100 y una formulación de 60% de polímero.

FOSFATOS

En la gráfica se muestra el comportamiento de la capacidad de remoción de fosfatos en el agua tratada. Se puede apreciar que el mejor rendimiento se obtuvo al utilizar un diámetro de partícula pasado por el tamiz número 200 y con la formulación correspondiente al 80 % de polímero.

Ph

En la medición del pH se observaron tendencia homogénea para los tres diámetros de partícula utilizados y las tres formulaciones. Se observa un mayor cambio en el pH cuando se aumenta la cantidad de polímero presente en la formulación. Se puede observar que las membranas acidificaban ligeramente el agua que pasaba a través de los filtros, esto es más evidente en las formulaciones con mayor porcentaje de polímero.

PRESION

En la gráfica se puede observar el comportamiento de la caída de presión en los filtros sometidos a evaluación, se puede apreciar que la caída de presión aumenta conforme el contenido de polímero aumenta, esta es una tendencia que se cumple para los tres tamaños de partícula. Dicho comportamiento se debe a que al aumentar el contenido de polímero se disminuye la cantidad del agente formador de poros en la membrana y la porosidad tiende a disminuir, lo que ocasiona una mayor oposición al flujo del agua, restando energía cinética al movimiento de las moléculas del fluido y por consiguiente provocando una disminución en el valor de la presión. Al disminuir el tamaño de partícula del polímero desde un mesh de 100

hasta un mesh de 200 se disminuye también el diámetro del poro de la membrana fabricada, lo que ocasiona una mayor resistencia al flujo del agua.

5. Conclusiones

Se concluye que el filtro con la mayor capacidad de retención de dureza fue el constituido por membranas con una formulación del 80% de polímero y un tamaño de partícula de 100 mesh.

Al no existir una tendencia definida sobre la capacidad de remoción de sólidos disueltos para los demás tamaños de partícula y formulaciones se hace necesario dar continuidad a los estudios sobre la influencia de las propiedades del polímero en relación al agente formador de por y al diámetro de partícula.

Con base en el comportamiento de la dureza y de la capacidad de remoción de fosfatos, se puede observar que la unidad filtrante en conjunto debe estar constituida por dos etapas, la primera formada por membranas con un diámetro de partícula mayor, la cual asegurará la mayor retención de dureza y la segunda etapa con un diámetro de partícula menor de esta manera se puede crear un efecto de sinergia entre las membranas utilizadas mejorando el desempeño como medio filtrante

A mayor contenido de polímero se registró una mayor caída de presión, siendo de 7.8 psi para un tamaño de partícula de mesh 200 y una formulación de 80%

Con un nivel de significancia del 95%, se determinó que no existe diferencia significativa en los valores medios de la reducción de los sólidos disueltos, cantidad de fosfatos y valor de pH cuando se varía el tamaño de partícula tanto del polímero como del agente formador de poros.

Con un nivel de significancia del 95%, se determinó que no existe diferencia significativa en los valores medios de la reducción de dureza, reducción de sólidos disueltos, reducción de cantidad de fosfatos y valor de pH cuando se varía el porcentaje de polímero en la formulación.

Con un nivel de significancia del 95%, se determinó que existe diferencia significativa en los valores medios de la capacidad de reducción de dureza cuando se varía el tamaño de partícula tanto del polímero como del agente formador de poros.

Con un nivel de significancia del 95%, se determinó que no existe diferencia significativa en la interacción de las variables formulación y tamaño de partícula sobre la capacidad de reducción de dureza de los filtros fabricados.

Con un nivel de significancia del 95%, se determinó que existe diferencia significativa en la interacción de las variables formulación y tamaño de partícula sobre la capacidad de reducción de sólidos disueltos, reducción de cantidad de fosfatos y pH de los filtros fabricados.

6. Recomendación

1. En base al comportamiento de la dureza se recomienda que se hagan estudios adicionales para evaluar la factibilidad de utilizar las membranas para filtros de ablandamiento para el tratamiento de agua en calderas
2. Los filtros ensamblados con las membranas formuladas deben ser utilizados únicamente como pretratamiento de agua ya que no tienen ningún efecto de atenuamiento microbiológico sobre el agua.

7. Referencias y bibliografía

- Ayres, G. (1970). *Análisis Químico Cuantitativo*. México: Harla, S.A.
- Beltrán, M. & Marcilla, A. (1980). *Tecnología de los polímeros, Procesado y Propiedades*. Publicaciones Universidad de Alicante.
- Billmeyer Jr., Fred W. (1975). *Ciencia de los polímeros*. Editorial Reverté Barcelona.
- Ferrer, C. & Amigó, V. (2003). *Tecnología de los materiales*, Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Harper, C. (2004). *Manual de plásticos*. México: McGraw-Hill Interamericana. 1(2).
- Hsieh, H. (1996). *Inorganic Membranes for Separation and Reaction*. Elsevier Science.
- Huang, R. & Shao, M. (2001). Sulfonation of poly(ether ether ketone) (PEEK): kinetic study and characterization.
- Hurtarte, K. (2015). *Evaluación de operación de un sistema de separación por microfiltración a partir de una membrana de tereftalato de polietileno (PET)*. Tesis Licenciatura. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Melero, J. *Materiales y procesos avanzados: materiales de alta tecnología*. España: TGI CSIC.
- Montes, A. (2014). *Preparación de una membrana polimérica a partir de polietileno tereftalato (PET) a diferentes tiempos y temperaturas de sinterización*. Tesis Licenciatura, Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Mulder, M. (1996). *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publishers. México.
- Palacio, L. (1998). *Caracterización Estructural y Superficial de Membranas Microporosas*. Tesis doctoral. Depto. de Termodinámica y Física Aplicada. Universidad de Valladolid.

Porter, C. (1990). *Handbook of Industrial Membrane Technology*. U.S.A: Noyes Publication. New Jersey.

Ribeiro, R., Bergamasco, R., Gimenes, M & Müller, C. (2007). *Preparación de membranas para producción de agua potable*. Departamento de ingeniería química. Universidad Estatal de Maringá. Brasil.

Sampieri, R & Fernández, C. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana, 4

8. Apéndice

8.1 Datos

Formulación **80% polímero, 20% cloruro de sodio**
Tamaño partícula **100**

Repetición	Temperatura (°C)	Dureza	Solidos Disueltos	Ph	Fosfatos	Presión (PSI)
1	24.9	61	41.3	7.59	14	4
2	24.9	65	41.2	7.52	14	4
3	24.2	62	42	7.45	14	4
4	24.7	61	34.5	7.44	14	4
5	24.7	66	35.3	7.51	14	4
Línea base	24.7	76	68.6	7.52	26	

Formulación **70% polímero, 30% cloruro de sodio**
Tamaño partícula **100**

Repetición	Temperatura (°c)	Dureza	Solidos Disueltos	Ph	Fosfatos	Presión (psi)
1	26.5	67	57.6	7.19	12	4
2	26.6	63	52	8.92	10	4
Línea base	25.4	77	57.2	7.37	18	
3	27	61	44.9	7.67	16	4
4	27.4	61	47.9	7.54	16	4
5	26.6	61	38.3	7.44	16	4
Línea base	24.7	76	68.6	7.52	26	

Formulación **60% polímero, 40% cloruro de sodio**
Tamaño partícula **100**

Repetición	Temperatura (°c)	Dureza	Solidos Disueltos	Ph	Fosfatos	Presión (psi)
1	22.7	60	51.1	8	12	4
2	22.8	62	57.3	7.81	12	4
3	23.8	57	58.6	7.93	12	4
4	23.9	59	57.1	7.8	12	4
5	24	59	57	7.86	12	4
Línea base	25.4	77	57.2	7.37	18	

Formulación **80% polímero, 20% cloruro de sodio**
Tamaño partícula **140**

Repetición	Temperatura (°c)	Dureza	Solidos Disueltos	Ph	Fosfatos	Presión (psi)
1	25.2	66	40.3	7.95	24	7
2	24.5	66	42	7.96	22	7
3	24.8	67	39.8	8	22	7
4	24.9	65	39.7	7.48	22	7
5	24.5	66	45	7.84	22	7
Línea base	24.9	79	52	7.51	30	

Formulación **70% polímero, 30% cloruro de sodio**
Tamaño partícula **140**

Repetición	Temperatura (°c)	Dureza	Solidos Disueltos	Ph	Fosfatos	Presión (psi)
1	24.4	65	75.8	7.46	20	5
2	24.5	55	42.8	7.37	18	5
Línea base	24.9	79	52	7.51	30	
3		68	42.3	7.76	12	5
4		71	38.6	7.67	14	5
5		63	41.6	7.59	12	5
Línea base	24.7	76	68.6	7.52	24.7	

Formulación **80% polímero, 20% cloruro de sodio**
Tamaño partícula **200**

Repetición	Temperatura (°c)	Dureza	Solidos Disueltos	Ph	Fosfatos	Presión (psi)
1	24.9	55	44.5	8.1	18	9
2	24.9	68	39	7.85	20	9
3	24.7	64	71.8	7.75	20	7
4	24.8	66	41.1	7.87	18	7
5	24.8	66	43.6	7.93	20	7
Línea base	24.9	79	52	7.51	30	

Formulación 70% polímero, 30% cloruro de sodio
Tamaño partícula 200

Repetición	Temperatura (°c)	Dureza	Solidos Disueltos	Ph	Fosfatos	Presión (psi)
1	26.5	59	59.5	8.09	8	8
2	22	73	61.4	7.53	2	8
3	22	67	661.4	7.6	2	8
Línea base	25.4	77	57.2	7.52	18	
4	25.9	66	44	7.45	18	5
5	26.2	58	43.7	7.32	18	5
Línea base	24.7	76	68.6	7.52	26	

Formulación 60% polímero, 40% cloruro de sodio
Tamaño partícula 200

Repetición	Temperatura (°c)	Dureza	Solidos Disueltos	Ph	Fosfatos	Presión (psi)
1	24.5	61	39.4	7.62	16	2
2	24.5	64	36.8	7.45	14	2
3	24.6	64	37	7.42	14	3
4	25	58	42.1	7.57	16	3
5	25.7	60	42	7.74	16	3
Línea base	24.7	76	68.6	7.52	26	

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo de Dureza				
RESUMEN	F60	F70	F80	Total
<i>M100</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	352	276	300	928
Promedio	70.4	55.2	60	61.8666667
Varianza	52.8	75.2	88	104.838095
<i>M140</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	272	256	260	788
Promedio	54.4	51.2	52	52.5333333
Varianza	132.8	843.2	8	283.12381
<i>M200</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	73	60	76	209
Promedio	14.6	12	15.2	13.9333333
Varianza	6.8	36	26.2	21.7809524
<i>Total</i>				
Cuenta	15	15	15	
Suma	697	592	636	
Promedio	46.4666667	39.4666667	42.4	
Varianza	644.695238	679.695238	442.685714	

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo Sólidos totales

RESUMEN	F60	F70	F80	Total
<i>M100</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	4.9	80.5	148.7	234.1
Promedio	0.98	16.1	29.74	15.6066667
Varianza	8.607	159.905	13.243	199.763524
<i>M140</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	40.3	68.7	53.2	162.2
Promedio	8.06	13.74	10.64	10.8133333
Varianza	723.043	506.958	4.993	358.632667
<i>M200</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	145.7	38.8	20	204.5
Promedio	29.14	7.76	4	13.6333333
Varianza	6.638	241.163	181.665	254.045238
<i>Total</i>				
Cuenta	15	15	15	
Suma	190.9	188	221.9	
Promedio	12.7266667	12.5333333	14.7933333	
Varianza	364.210667	272.636667	184.66781	

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo fosfatos

RESUMEN	F60	F70	F80	Total
<i>M100</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	4.9	80.5	148.7	234.1
Promedio	0.98	16.1	29.74	15.6066667
Varianza	8.607	159.905	13.243	199.763524
<i>M140</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	40.3	68.7	53.2	162.2
Promedio	8.06	13.74	10.64	10.8133333
Varianza	723.043	506.958	4.993	358.632667
<i>M200</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	145.7	38.8	20	204.5
Promedio	29.14	7.76	4	13.6333333
Varianza	6.638	241.163	181.665	254.045238
<i>Total</i>				
Cuenta	15	15	15	
Suma	190.9	188	221.9	
Promedio	12.7266667	12.5333333	14.7933333	
Varianza	364.210667	272.636667	184.66781	

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo pH

RESUMEN	F60	F70	F80	Total
<i>M100</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	-2.55	-1.46	0.09	-3.92
Promedio	-0.51	-0.292	0.018	0.26133333
Varianza	0.00715	0.50947	0.00367	0.19894095
<i>M140</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	-0.11	-0.27	-1.68	-2.06
Promedio	-0.022	-0.054	-0.336	0.13733333
Varianza	0.00167	0.02313	0.04538	0.0413781
<i>M200</i>				
Cuenta	5	5	5	15
Suma	-0.2	-0.39	-1.95	-2.54
Promedio	-0.04	-0.078	-0.39	0.16933333
Varianza	0.01695	0.08647	0.0167	0.06066381
<i>Total</i>				
Cuenta	15	15	15	
Suma	-2.86	-2.12	-3.54	
Promedio	0.19066667	0.14133333	-0.236	
Varianza	0.06204952	0.18914095	0.05386857	

8.2 Fotografías



Polímero en el molino de bolas



Separación del polímero en el molino de bolas



Tamizado del material



Membranas ya sinterizadas



Material utilizado en la sinterización pet



Material obtenido en el molino



Polímero antes de la sinterización



Membranas fabricadas



Material antes de la sinterización



Prueba preliminar



Sección que soporta las membranas



Ensamble del filtro



Filtro en la unidad de prueba



Unidad de prueba



Detalle de la membrana en el filtro



Partículas retenidas por el filtro



Kits de análisis de agua



Análisis de solidos disueltos



Análisis de fosfatos



Membrana colapsada por el caudal



Elementos que constituyen un filtro

9. Orden de pagoLISTADO DE TODOS LOS INTEGRANTES DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN
CONTRATADOS POR LA DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN

Nombre	Categoría	Registro Personal	de Pago	
			SI	NO
Ing. Mauricio Rivera	Investigador	20141714	X	
Inga. Karen Hurtarte	Investigador	20110151	X	

Nombre	Firma
Ing. Mauricio Rivera	
Inga. Karen Hurtarte	

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
Coordinador del Proyecto de investigación

firma

Inga. Liuba María Cabrera de Villagrán
Coordinador del Programa Universitario

firma

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

firma