

Caracterización de un filtro de arena para potabilización de agua, mediante la obtención de curvas experimentales basadas en sus parámetros de funcionamiento

Adriana Elisa Espinoza Leal
Victor Olmedo Trejo Cordova
Ing. Jorge Duque Rivera

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
adrianaespinozaleal@hotmail.com
victorolmedo86@gmail.com
jduque@espol.edu.ec

Resumen

El presente artículo detalla el desarrollo y resultados obtenidos en un banco de pruebas experimental para generar las curvas de caracterización de un filtro de arena empleado en un proceso de potabilización de agua. Se seleccionó un filtro de arena comercial que empleó como material filtrante arena fina No. 45. Las pruebas se realizaron con diferentes niveles de turbidez, obtenidos diluyendo arcilla. Como resultados se obtuvieron curvas de espesor de capa de sólidos retenidos vs cantidad de sólidos ingresada al filtro, y de espesor de capa de sólidos retenidos vs caída de presión en el lecho filtrante. Con estos gráficos generados se estableció que la caída de presión a la que el filtro requiere retrolavado es 4 psi, a este valor la eficiencia del filtro llega a ser del 94%, y el espesor de la capa de sedimentos formados en el lecho filtrante fue de 8 mm. El espesor de la capa de sedimentos con la que el filtro se tapó, fue de 10 mm. La información obtenida fue empleada como complemento del manual de funcionamiento del filtro. Los parámetros establecidos en la experimentación son sujetos a las condiciones particulares de trabajo utilizadas en estas pruebas.

Palabras Claves: Filtro de arena, Material filtrante, Turbidez, Sólidos suspendidos, Presión

Abstract

This article details the development and result of an experimental test bench to generate characterization curves of a sand filter used in a water purification process. We selected a commercial sand filter with fine sand No. 45 as filter material. The tests were performed with different levels of turbidity, which were obtained by diluting clay. The curves were obtained were layer thickness of retained solids vs. amount of retained solids entered the filter solids and layer thickness retained solids vs. pressure drop across the filter bed. These charts established that the pressure drop when filter requires a backwashing is 4 psi, at this value, the filter efficiency reached 94%, and the thickness of the layer of retained solids in the filter bed was 8 mm. When the thickness of the layer of retained solids was 10 mm the filter was plugged. The information obtained was used as a complement of the manual operation of the filter. The parameters of the experiments are subject to the special working conditions used in these tests.

Keywords: Sand filter, filter material, turbidity, suspended solids, pressure.

1. Introducción

En la ciudad de Guayaquil, una empresa comercializadora de Plantas Potabilizadoras de agua, tenía la necesidad de completar su manual de funcionamiento caracterizando sus filtros de arena.

Se utilizó arcilla para simular diversos niveles de turbidez en el agua utilizada para las pruebas, debido a que dentro del proceso de potabilización, éste es el principal elemento que se encuentra en el agua con

niveles de turbidez. Para la experimentación, se seleccionó un filtro comercial con arena No. 45 como material filtrante, con el que se obtuvieron los resultados que se presentaran a lo largo de este artículo.

2. Metodología

Para enfocar el análisis en el proceso de filtración de agua con diversos niveles de turbidez, se elaboró un banco de pruebas conformado por dos tanques abiertos de 200 litros en los que se almacenó el agua contaminada y se depositó el agua filtrada, una bomba, manómetros, un filtro cerrado con arena No. 45, y una balanza para dosificar la arcilla al agua potable obteniendo el grado de turbidez deseado. Con la finalidad de controlar la turbidez de agua se determinó por medio de ensayos el peso del material contaminante con el cual se tendría una turbidez de 100, 200, 300 y 400 NTU. Estos datos sirvieron para conocer la cantidad de contaminante a dosificar.

En el Ecuador la norma que regula los procesos ambientales es la norma TULAS. En ella se describe que el grado máximo de turbidez que debe tener el agua para ser filtrada, es de 20 NTU. Para grados de turbidez superiores a 20 NTU, los procesos para reducir la turbidez que se deben emplear son: coagulación, floculación y sedimentación, en los cuales se logra mayores eficiencias, y ahorro de tiempo y energía.

Para una gestión más amigable con el ambiente, y con el propósito de evitar un excesivo consumo de agua potable, se procedió a acelerar el proceso de experimentación, empleando mayores dosificaciones de contaminante, con el objetivo de obtener grados de turbidez entre los 100 y 400 NTU, y así lograr un ahorro significativo de agua durante la experimentación.

2.1 Obtención del material contaminante

Para la obtención del material contaminante (arcilla) se recogió un total de 25 sacos de aproximadamente 20 kg. con cascajo en una zona de suelo arcilloso, cercano al río Daule. Se separó el material vegetal, las piedras, grumos y otros contaminantes sólidos.

El material restante fue mezclado en agua en un tanque abierto con aproximadamente 100 litros de agua, y agitado durante 15 minutos por una bomba sumergible, para obtener una mejor mezcla, y separar grumos que hayan quedado en la arcilla.

El material más pesado (piedras pequeñas, grumos y otros contaminantes) quedaron depositados en el fondo, y la densa mezcla de agua-arcilla fue retirada y dispuesta en un nuevo tanque abierto para proceder a decantar.

Al cabo de un día de reposo, el contaminante quedó depositado en el fondo, el agua ligeramente

turbia fue retirada del tanque, para dejar en el fondo únicamente una mezcla lodosa de arcilla y agua.

Esta mezcla lodosa fue dispuesta en bandejas de poca profundidad, donde se dejó secando en el sol por el lapso de dos semanas.

El resultado fue una cantidad de arcilla fina muy seca (humedad <5%), que se dosificó posteriormente al agua potable (agua de entrada) para simular el agua con turbidez.

2.2 Tamaño de grano del contaminante y medida del espacio intersticial.

Para determinar las características del material contaminante seleccionado, se requirió realizar un análisis granulométrico de la arcilla, obteniendo los siguientes resultados:

Tamiz	Abertura Tamiz (mm)	% Muestra Retenida
40	0,425	3,03
50	0,297	8,99
60	0,250	4,83
70	0,211	15,95
100	0,150	58,78

Tabla 1 Análisis granulométrico del material contaminante (arcilla fina).

La selección de un correcto tamaño de grano del material filtrante, se enfoca en obtener un espacio intersticial lo suficientemente pequeño para evitar que el material contaminante pase a través de él, pero lo adecuadamente grande para evitar una gran caída de presión del agua dentro del filtro.

La siguiente figura muestra el modelo matemático, que permite que dimensiona el arreglo estructural de los granos del material filtrante.

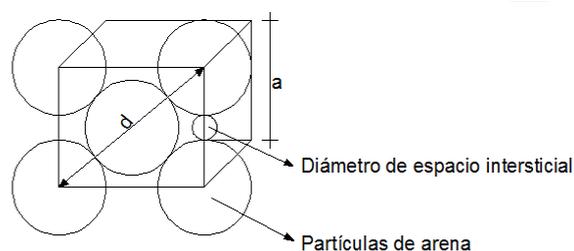


Figura 1. Cantidad de arcilla ingresada al filtro vs. espesor de capa de sólidos retenidos.

La figura 1 muestra en la arista frontal derecha un espacio intersticial circunscrito entre dos granos de arena del material filtrante, que fue obtenido geoméricamente mediante la fórmula:

$$D_{intersticio} = \frac{4R_{arena}}{\sqrt{2}} - 2R_{arena}$$

$$D_{intersticio} = 0,144 \text{ mm}$$

El cual es inferior al diámetro de grano de la arcilla de 0,150 mm, mostrado en la tabla 1.

2.3 Materiales y equipos

Las herramientas empleadas en laboratorio para la medición de la turbidez y cantidad de sólidos disueltos y suspendidos en el agua fueron los siguientes:

- Medidor de turbidez
- Espectrofotómetro hach
- Cono Imhoff
- Probetas graduadas
- Cuchara plástica
- Agitador de vidrio
- Vaso plástico varias medida

Los equipos e instrumentos empleados para la experimentación con el filtro de arena fueron los siguientes:

- Filtro cerrado con arena No. 45
- Tanques abiertos metálicos de 200 litros
- Mangueras 1"
- 2 Manómetros
- Balanza electrónica (precisión 1 gr)
- Calibrador
- Recipientes plásticos

2.3 Banco de pruebas y medición de parámetros

El banco de pruebas fue armado de tal forma que permitiera la medición de la presión de entrada y salida del agua, y el grado de turbidez del agua de entrada y salida del filtro. La siguiente figura muestra la disposición de los elementos empleados a través de un diagrama de procesos e instrumentos:

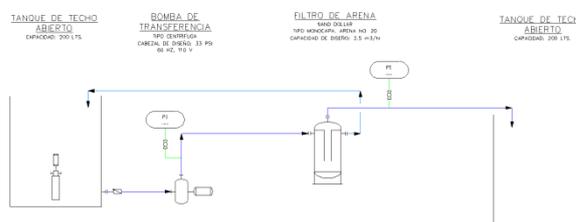


Figura 2. P&ID del banco de prueba

La experimentación consistió en la filtración de 21 tanques de 200 litros de agua, contaminados a cuatro distintos grados de turbidez, y a un caudal de 2.5 m³/hora. Para poder medir el espesor de la capa de sólidos retenidos en el lecho filtrante, se realizaron seis pruebas en total, una prueba cada siete días con el

objetivo de retirar el agua sobrante en el filtro, secarlo y obtener el espesor de la capa formada.

Los tanques y el grado de turbidez del agua contenida, se distribuyeron de la siguiente forma:

No. de prueba	No. de tanques	NTU
1	2	400
2	5	400
3	5	100
4	5	200
5	2	300
6	2	400
TOTAL	21	

Tabla 2. Tanques y grados de turbidez empleados en la experimentación.

Dentro de las variables independientes en la experimentación se encuentran:

- Peso de material contaminante
- Grado de turbidez del agua de entrada
- Caudal

Las variables dependientes medidas en la experimentación fueron:

- Grado de turbidez del agua de salida
- Caída de presión dentro del filtro
- Espesor de la capa de material retenido en el lecho filtrante
- Eficiencia del filtro

3. Presentación y análisis de resultados experimentales

A continuación la gráfica de la cantidad de arcilla ingresada al filtro vs. el espesor de la capa de sólidos retenidos:

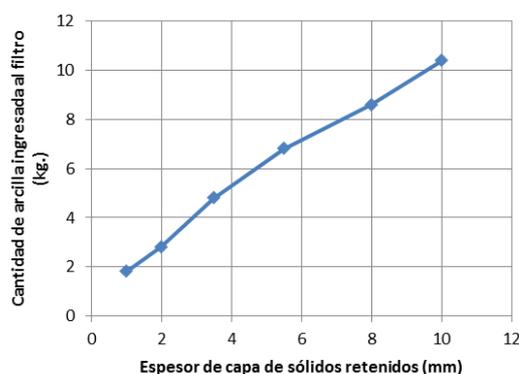


Figura 3. Cantidad de arcilla ingresada al filtro vs. espesor de capa de sólidos retenidos.

La figura 3 muestra el comportamiento entre la cantidad de arcilla ingresada y el espesor de la capa de sólidos retenidos. Se observa que existe un crecimiento proporcionalmente lineal entre la cantidad de arcilla ingresada, y la cantidad de arcilla retenida, a pesar de que ésta haya sido dosificada en el agua a diferentes grados de turbidez, por lo tanto se deduce que la retención de material sólido es indiferente al grado de turbidez del agua.

A continuación la relación entre la caída de presión en el filtro y el espesor de la capa de sólidos retenidos:

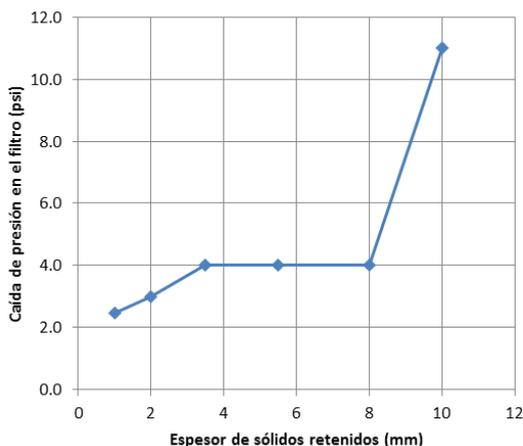


Figura 4 Caída de presión en el filtro vs. espesor de sólidos retenidos.

La figura 4 muestra un incremento en la caída de presión, a medida que el espesor de la capa de sólidos retenidos aumenta.

Esto se explica debido a que una mayor cantidad de sólidos retenidos ocasionan una mayor oposición al paso de agua, y a su vez al paso de material sólido suspendido en ella, ya que el diámetro del espacio intersticial se torna cada vez más pequeño.

Este fenómeno provoca que cada vez más sólidos sean retenidos y se aumente la eficiencia del filtrado, a costas de un mayor consumo de energía debido a la mayor oposición del flujo de agua, que genera un incremento de la caída de presión.

La eficiencia del filtro se calculó con la siguiente fórmula:

$$e\% = \frac{\text{SólidosContenidos}_{\text{AguaDeEntrada}} - \text{SólidosContenidos}_{\text{AguaDeSalida}}}{\text{SólidosContenidos}_{\text{AguaDeEntrada}}} \times 100$$

Medida a partir de la cual se obtuvo la gráfica en comparación con distintos espesores de la capa de sólidos retenidos:

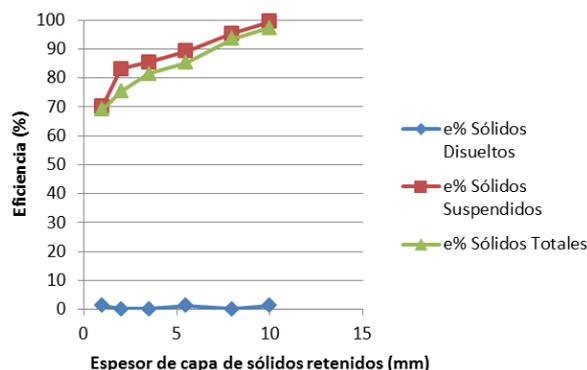


Figura 5. Eficiencia de retención de sólidos disueltos, suspendidos y totales vs. espesor de capa de sólidos retenidos.

La figura 5 muestra que la eficiencia de retención de sólidos disueltos es prácticamente nula, debido a que el proceso de filtración con arena no es útil para la retención de material disuelto, ya que los diámetros de las partículas contaminantes disueltas son mucho menores a los espacios intersticiales.

Sin embargo se muestra que la eficiencia de los sólidos suspendidos, que poseen diámetros superiores al de los espacios intersticiales, se incrementa desde el 70% hasta el 99%.

Los sólidos totales representan la suma de la cantidad de sólidos disueltos más los sólidos suspendidos. La curva de eficiencia de retención de los sólidos totales es muy similar la curva de los sólidos suspendidos, ya que la cantidad de sólidos disueltos representan menos del 5% de la cantidad de sólidos totales.

Si bien el valor de la eficiencia fue creciendo a medida que el espacio intersticial se redujo, el coste de este incremento se vio reflejado en el aumento de la caída de presión. La siguiente gráfica muestra este comportamiento:

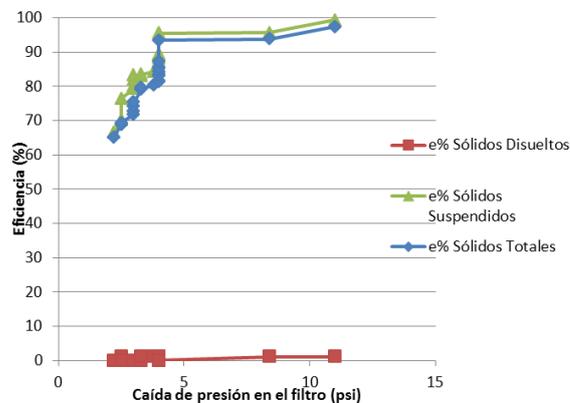


Figura 6. Eficiencia de retención de sólidos disueltos, suspendidos y totales vs. espesor de capa de sólidos retenidos.

La figura 6 muestra un incremento de la eficiencia de retención del 65.1% al 93.5%, para un rango de caída de presión entre 2.4 y 4 psi. Este crecimiento de la eficiencia se detiene para el rango de caída de presión entre los 4 y 11 psi.

Este comportamiento recomienda a no sobrepasar el rango de 4 psi para obtener la mejor relación consumo de energía vs. eficiencia.

Tomando en cuenta que la cantidad de sólidos retenidos obedece al volumen de sólidos suspendidos ingresado al filtro, y es indiferente al caudal de agua, es posible realizar una tabla que precise el tiempo que el filtro pueda trabajar, continua o intermitentemente, sin requerir retrolavado, siempre y cuando se mantenga la tasa de filtración empleada 1.85 m³/h/m² en las pruebas que fue el empleado en la experimentación:

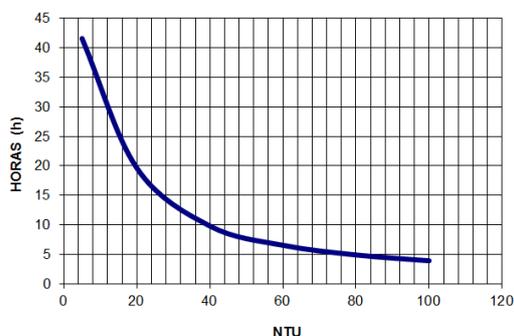


Figura 7. Tiempo recomendado de trabajo en horas antes de realizar retrolavado dependiendo del grado de turbidez del agua.

4. Conclusiones

La cantidad de sólidos retenidos es directamente proporcional a la cantidad sólidos suspendidos que ingresen al filtro, es decir no dependen del caudal de agua.

El crecimiento de la capa de sólidos retenidos en la parte superior del lecho filtrante, provoca una reducción del espacio intersticial, que genera una mayor retención de sólidos suspendidos, pero a su vez genera una mayor caída de presión.

La caída de presión máxima recomendada bajo el caudal de 2.5 m³/hora, es de 4 psi. Obteniendo así una retención aproximada del 93.5% de los sólidos suspendidos y disueltos.

Sobre una caída de presión superior a los 4 psi. la eficiencia puede incrementarse pero a un alto coste de energía, por este motivo se recomienda no sobrepasar esta diferencia de presión.

5. Agradecimientos

A todas las personas que de una u otra forma ayudaron a la realización de este trabajo y en especial al Dr. Alfredo Barriga y Ing. Jorge Espinoza por su invaluable ayuda.

14. Referencias

- [1] **Bruce Lesikar Juan Enciso** (2000). Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras. Filtro de arena.
- [2] **Manual Regaber** (2011). Filtro arena 20", 36" y 48"
- [3] **ASTM D1889-88a**. Método para determinar turbidez en agua.
- [4] **Kuan-Mu Yao, Mohammad T. and Charles R. O' Melia** (2011). Water and Waste Water Filtration: Concepts and Applications.
- [5] **Frank M. White** (Sexta Edición). Mecánica de Fluidos
- [6] **C.R. Westaway y A.W. Loomis** (Décimo Sexta Edición). Cameron Hydraulic Data
- [7] **AWWA 10009**. Water Treatment Plant Design.
- [8] **NTE INEN 1108:2011** (Cuarta edición). Agua potable. Requisitos.
- [9] **TULAS** (Libro VI, Anexo 1). Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua