



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i1.2607>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de investigación

Diseño y construcción de un equipo de floculación horizontal: El caso de un laboratorio universitario

Design and construction of a horizontal flocculation unit: The case of a university laboratory

Concepção e construção de uma unidade de floculação horizontal: o caso de um laboratório universitário

José Gerardo León Chimbolema ^I
gerardo.leon@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9202-8542>

Rogel Alfredo Miguez Paredes ^{II}
rmiguez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5063-1474>

Lourdes Cumandá Carrera_Beltrán ^{III}
lcarrera_b@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5063-1474>

Correspondencia: gerardo.leon@esPOCH.edu.ec

***Recibido:** 02 de enero 2022 ***Aceptado:** 31 de enero de 2022 * **Publicado:** 22 de febrero de 2022

- I. Doctor en Química. Master en Protección Ambiental. Facultad de Ciencias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Riobamba, Ecuador
- II. Ingeniero en Sistemas Informáticos, Magister en Interconectividad de Redes. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Riobamba, Ecuador
- III. Doctora en Química (Pregrado). Magíster en Protección Ambiental. Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología, Ambiente y Química (GAIBAQ)-ESPOCH. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Riobamba, Ecuador

Resumen

Esta investigación presenta las fases de diseño y construcción de un floculador horizontal y su implementación en el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en Ecuador. A través de una investigación documental y experimental se diseñó y construyó el equipo de floculación horizontal, el mismo fue sometido a ensayos de floculación del agua sintética para determinar su uso y funcionamiento. En las pruebas piloto se concluye que después del proceso de floculación con el equipo los parámetros de calidad del agua de color, SST y turbidez disminuyeron con relación a los valores iniciales, lo cual fue corroborado con pruebas de laboratorio.

Palabras clave: agua sintética; tratamiento de aguas; ingeniería; floculación; calidad de agua

Abstract

This research presents the design and construction phases of a horizontal flocculator and its implementation in the hydraulics laboratory of the Faculty of Sciences of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, located in Ecuador. Through a experimental research, the horizontal flocculation equipment was designed and built, and was subjected to synthetic water flocculation tests to determine its use and operation. In the pilot tests it was concluded that after the flocculation process with the equipment the water quality parameters of color, TSS and turbidity decreased in relation to the initial values, which was corroborated with laboratory tests.

Key words: synthetic water; water treatment; engineering; flocculation; water quality.

Resumo

Esta investigação apresenta as fases de concepção e construção de um floculador horizontal e a sua implementação no laboratório de hidráulica da Faculdade de Ciências da Escola Superior Politécnica de Chimborazo, localizada no Equador. Através de uma pesquisa experimental, o equipamento de floculação horizontal foi concebido e construído, e foi submetido a testes de floculação de água sintética para determinar a sua utilização e funcionamento. Nos testes piloto conclui-se que após o processo de floculação com o equipamento, os parâmetros de qualidade da água de cor, TSS e turbidez diminuiram em relação aos valores iniciais, o que foi corroborado com testes laboratoriais.

Palavras-chave: água sintética, tratamento de água, engenharia, floculação, qualidade da água, qualidade da água.

Introducción

El agua es un elemento vital para la humanidad, dentro de las características físicas del agua ese encuentran la temperatura, el color, el sabor y el olor. Las propiedades químicas del agua incluyen parámetros como el pH y el oxígeno disuelto. El control de estas características ayuda a determinar si el agua es segura para el consumo humano y el medio ambiente.

Características físicas de la calidad del agua

El control de los aspectos físicos del agua permite determinar la calidad del agua y si se encuentra apta para su consumo o está contaminada; se detalla las siguientes características del agua como el color que es pura incolora, el agua con una coloración puede ser un signo de contaminación, de sustancias orgánicas. Otra característica es la turbidez, el agua pura es clara y no absorbe luz, lo contrario indica contaminación. En cuanto al sabor y el olor, el agua pura es insípida e inodora, si no cumple con estos aspectos es signo de contaminación. Igualmente, la temperatura del agua, aunque no se utiliza de manera directa para evaluar si el agua es potable o no, se sabe que en los lagos y ríos si es un factor físico que ayuda a determinar la calidad. Los sólidos del agua se filtran para eliminar los sólidos en suspensión, el sólido restante en el agua indica el total de sólidos disueltos. Si los sólidos disueltos en el agua superan los 300 mg/l, afectan negativamente a los organismos vivos y a los productos industriales. (Spellman, 2020)

Por parte de las propiedades químicas del agua, se tiene el pH del agua que mide entre 0 y 14 para determinar su grado de acidez o alcalinidad. La medición se realiza utilizando una escala logarítmica. Oxígeno disuelto: es el nivel de oxígeno libre, no compuesto, presente en el agua u otros líquidos. Es un parámetro esencial para evaluar la calidad del agua debido a su influencia en los organismos que viven en una masa de agua. (Element, 2020)

Asimismo, el rápido desarrollo de la industria de todo tipo alrededor del mundo ha sido acompañado de diversas aguas residuales que contienen diferentes tipos de contaminantes disueltos y no disueltos de tal forma que la contaminación del agua es cada vez mayor. (Schwarzenbach et al., 2006; Shannon et al., 2008)

Diseño y construcción de un equipo de floculación horizontal: El caso de un laboratorio universitario

Existen diferentes prácticas de tratamientos de agua y, de hecho, la mayoría de ellas; como la coagulación, la floculación y la clarificación, se remontan a cientos y, en algunos casos, a miles de años. (Rodríguez Miranda et al., 2015)

En el caso de la floculación, se conoce que es un proceso físico que se obtiene mediante una mezcla suave y prolongada de las colisiones entre partículas y promover la formación de partículas más grandes. Las partículas floculadas son lo suficientemente grandes como para que puedan ser eliminadas por sedimentación o por filtración con un tamaño de poro relativamente grande, incluyendo una tela de tejido apretado. (Masojídek y Torzillo, 2014) (Narayanan & Hough, 2004)

La eficacia de la floculación depende en gran medida de los floculantes utilizados, que se dividen en dos clases distintas; coagulantes inorgánicos y floculantes poliméricos orgánicos que incluyen los sintéticos y los naturales. Asimismo, diferentes estudios sugieren el uso de los anteriores en los procesos de floculación dado su grado de adsorción en partículas coloidales cargadas negativamente, lo que resulta en simultáneamente la reducción de la carga superficial y la formación de micro flóculos (Li et al., 2005, 2006). De esta forma y normalmente se requieren grandes dosis de coagulantes inorgánicos para una floculación eficiente, lo que provoca la producción de grandes volúmenes de lodos de hidróxido metálico y el consiguiente problema de eliminación. (Costa & de Pinho, 2004)

Igualmente, según Yang et al. (2016) otros inconvenientes de los coagulantes inorgánicos son:

Su alta sensibilidad al pH, su ineficacia con las partículas muy finas partículas y aplicables sólo a unos pocos sistemas dispersos y el aumento de la concentración de metales en el agua tratada puede suponer graves problemas para la salud de las personas. (p.61)

En este sentido existen los conocidos floculadores que tiene como objetivo proporcionar al agua coagulada una agitación lenta con velocidades decrecientes y de esta manera;

promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que la suspensión de agua y flóculos salga de la unidad. La energía que produce la agitación del agua puede ser de origen hidráulico o mecánico. Entre los floculadores más conocidos se pueden citar, en primer lugar, las unidades de pantallas de flujo horizontal y vertical, las de medios porosos, la de tipo Alabama y Cox, y los floculadores de mallas. (Equipos y laboratorios de Colombia, 2016) (Costa & de Pinho, 2004)

Con estos antecedentes, este artículo tiene como objetivo presentar el proceso de diseño y construcción de un floculador horizontal para su implementación en un laboratorio universitario, específicamente en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Metodología

Metodológicamente, se llevó a cabo una investigación de tipo documental y experimental, ya que en un primer momento se investigó en diferentes fuentes académicas y técnicas para el proceso de diseño y construcción, además mediante esta revisión documental se pudo determinar cuáles son aquellas sustancias causantes de la turbiedad y de esta manera utilizar el material más contaminante en el agua sintética a tratar. (Frías, 1996) Una vez realizada la investigación de fuentes relevantes se identificaron las condiciones óptimas de operación del equipo, las cuales solamente fueron posibles de establecer después de diversos ensayos y pruebas piloto del equipo a fin de obtener el mejor rendimiento en el proceso de floculación. Además de dichos ensayos y pruebas para la medición de los parámetros de calidad del agua en el floculador horizontal fue necesario el uso del espectrómetro para obtener el valor de absorbancia de las muestras del agua y el uso del turbidímetro y pHmetro para el valor de turbidez y pH, respectivamente.

La caracterización del agua sintética consistió en contaminar el agua de la llave común, analizar la muestra de agua de manera físico y química, del mismo modo se realizó un análisis espectrofotométrico antes del proceso de floculación. Asimismo, se añadió arcilla como sustancia contaminante como parte del experimento.

Igualmente, se detalla el proceso de contaminación del agua que consistió en adicionar 1.0 gramos de arcilla en un vaso de precipitación que contenía 1 litro de agua de la llave, enseguida se homogenizó la solución mediante un agitador magnético.

Una vez contaminada el agua se analizaron las propiedades físico y químicas de la muestra en donde; se tomó una muestra del agua sintética, se lavaron los electrodos y celdas de los equipos utilizados con agua destilada, se midieron los parámetros del agua sintética con los equipos específicos para ello.

Tabla 1: Parámetros analizados en el agua sintética antes del proceso de floculación

Parámetro	Unidad	Equipo
Color	Pt.Co	Colorímetro
Potencial de hidrógeno	pH	Multiparámetros
Sólidos suspendidos totales	mg/L	Multiparámetros
Temperatura	°C	Multiparámetros
Turbidez	UNT	Turbidímetro

Fuente: Mejía, 2017

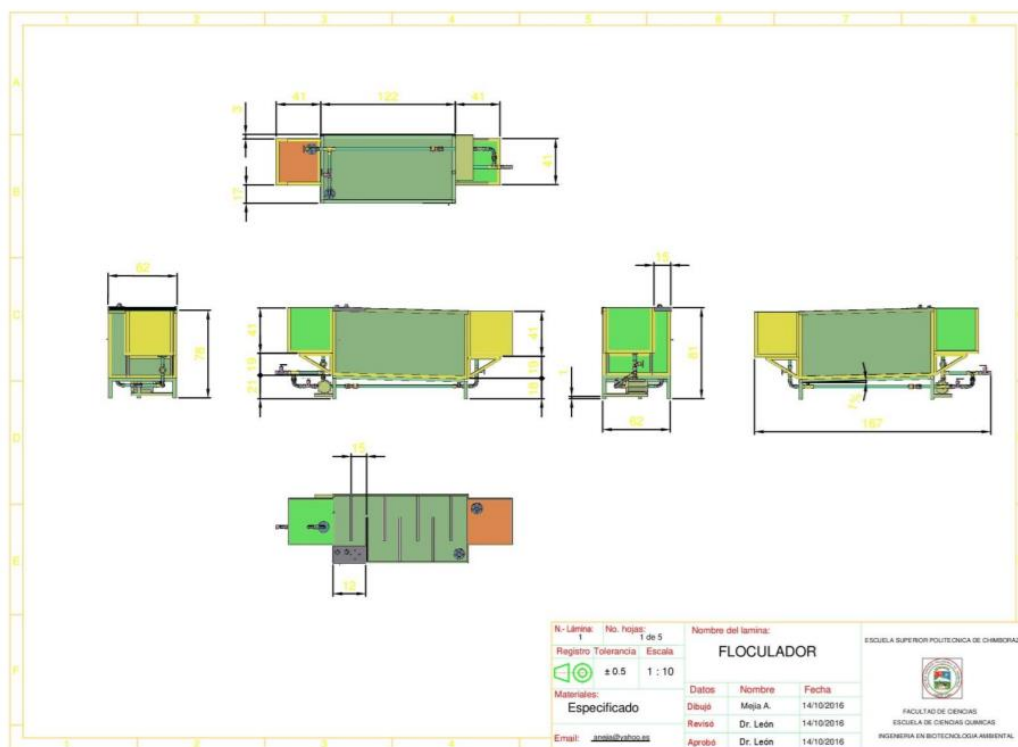
Para el análisis de espectrofotometría del agua sintética antes del proceso de floculación se midió la absorbancia de las muestras de agua sintética. En primer lugar, se tomó una muestra del agua sintética en tubos de ensayo, se lavó la cubeta de cuarzo con el agua destilada y la piseta, posteriormente se secó la cubeta con toallas de papel evitando tocar las paredes transparentes, se homogenizó y llenó la cubeta con agua destilada para encerar el equipo, se midió el valor de absorbancia a 575 nm, se lavó y secó la cubeta de cuarzo. Una vez realizado, se homogenizó y llenó la cubeta de cuarzo con la muestra de agua sintética para finalmente, medir el valor de absorbancia a 575 nm.

Resultados

El proceso de diseño y construcción del floculador horizontal y su implementación que se llevó a cabo para el laboratorio de ciencias de la ESPOCH se basó en el dimensionamiento, establecido según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Tabla 2.

Se presenta el plano del floculador horizontal (Figura 1) que permitió realizar el diseño para su creación.

Figura 1: Plano del floculador horizontal



--
Fuente: Autores, 2017

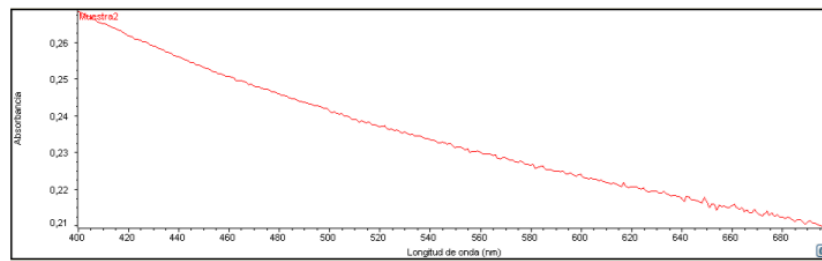
Del mismo modo en las siguientes tablas se detallan los parámetros analizados del agua sintética que se sometió al proceso de floculación. Por su parte, el análisis espectrofotométrico del agua sintética se realizó por duplicado y se detalla en el gráfico 1 y 2.

Tabla 2: Resultados obtenidos de los parámetros analizados en el agua sintética antes del proceso de floculación

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango
Tiempo de retención	T	min	10-30
Caudal	Q	L/s	>50
Altura del agua	H	m	1.5-2

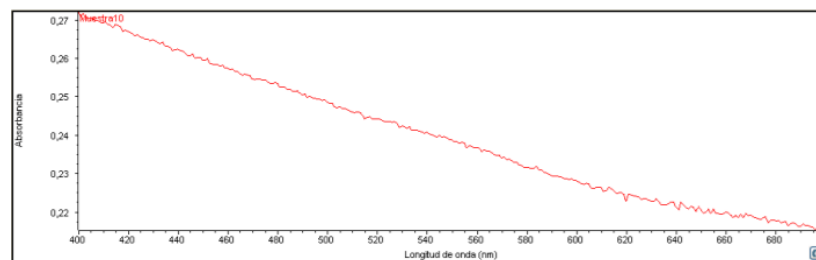
Fuente: (CEPIS, 2004 págs. 92-93)

Gráfico 1: Absorbancia vs longitud de onda de la muestra de agua sintética del primer análisis



Fuente: Mejía, 2017

Gráfico 2: Absorbancia vs longitud de onda de la muestra de agua sintética del segundo análisis



Fuente: Mejía, 2017

La absorbancia en el primer análisis fue de 0.227 mientras que en el segundo análisis fue de 0.233, se obtuvo en promedio un valor de 0.230 de absorbancia a una longitud de onda de 575 nm.

Diseño del floculador horizontal

Cálculo de la longitud de canal

La longitud de canal se obtuvo mediante la Ec. 2-1.

Datos

$$V_1 = 5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$T_1 = 900 \text{ s}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$l_1 = V_1 \times T_1$$

$$l_1 = 5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s} \times 900 \text{ s}$$

$$l_1 = 4.8 \text{ m}$$

Diseño y construcción de un equipo de floculación horizontal: El caso de un laboratorio universitario

Cálculo de la sección del canal

Datos

$$Q = 2.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_1 = 5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$A_1 = \frac{Q}{V_1}$$

$$A_1 = \frac{2.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s}}$$

$$A_1 = 0.051 \text{ m}^2$$

Cálculo del ancho del canal

El ancho del canal se obtuvo mediante la Ec. 4-1.

Datos

$$A_1 = 0.051 \text{ m}^2$$

$$H = 0.4 \text{ m}$$

$$a_1 = \frac{A_1}{H}$$

$$a_1 = \frac{0.051 \text{ m}^2}{0.4 \text{ m}}$$

$$a_1 = 0.13 \text{ m}$$

Cálculo del ancho de vueltas

Datos

$$a_1 = 0.13 \text{ m}$$

$$d_1 = 1.5a_1$$

$$d_1 = 1.5(0.13)$$

$$d_1 = 0.195 \text{ m}$$

Diseño y construcción de un equipo de floculación horizontal: El caso de un laboratorio universitario

Cálculo del ancho del floculador

Datos

$$b = 0.13 \text{ m } d_1 = 0.195 \text{ m}$$

$$B = 3b + d_1$$

$$B = 3 \times (0.13 \text{ m}) + 0.195 \text{ m}$$

$$B = 0.585 \text{ m}$$

Cálculo del número de canales

Datos

$$l_1 = 4.8 \text{ m}$$

$$B = 0.585 \text{ m}$$

$$N_1 = \frac{l_1}{B}$$

$$N_1 = \frac{4.8 \text{ m}}{0.585 \text{ m}}$$

$$N_1 = 8.2 \text{ unidades}$$

Cálculo de la Longitud total

Datos

$$N_1 = 8.2$$

$$a_1 = 0.13 \text{ m}$$

$$e = 0.006$$

$$L_1 = N_1 a_1 + (N_1 - 1)$$

$$L_1 = (8.2 \times 0.13 \text{ m}) + (8.2 - 1) \times (0.006 \text{ m})$$

$$L_1 = 1.12 \text{ m}$$

Cálculo de la pérdida de carga en las vueltas

Donde $K = 3$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

Diseño y construcción de un equipo de floculación horizontal: El caso de un laboratorio universitario

$$V_1 = 5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$h_1 = \frac{KV_1^2(N-1)}{2g}$$

34

$$h_1 = \frac{3 \times \left(5.33 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 (8.2 - 1)}{2 \times \left(\frac{9.8 \text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_1 = 3.13 \times 10^{-5} \text{m}$$

Cálculo de perímetro mojado de las secciones

Datos

$$H = 0.4 \text{ m}$$

$$a_1 = 0.13 \text{ m}$$

$$P_1 = 2H + a_1$$

$$P_1 = 2 \times 0.4 \text{m} + 0.13 \text{m}$$

$$P_1 = 0.93 \text{ m}$$

Cálculo del radio hidráulico

Datos:

$$A_1 = 0.051 \text{ m}^2$$

$$P_1 = 0.93 \text{ m}$$

$$r_1 = \frac{A_1}{P_1}$$

$$r_1 = \frac{0.051 \text{m}^2}{0.93 \text{ m}}$$

$$r_1 = 0.054 \text{ m}$$

Cálculo de pérdida de carga en los canales

Datos

Diseño y construcción de un equipo de floculación horizontal: El caso de un laboratorio universitario

$$n = 0.03$$

$$V_1 = 5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$r_1 = 0.054 \text{ m}$$

$$l_1 = 4.8 \text{ m}$$

$$h_2 = \left[\frac{n \times V_1^2}{r^{2/3}} \right] \times l_1$$

$$h_2 = \left[\frac{n \times (5.33 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{(0.054)^{2/3}} \right] \times (4.8)$$

$$h_2 = 5.88 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Cálculo de la pérdida de carga total

Datos

$$h_1 = 3.13 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$h_2 = 5.88 \times 10^{-6} \text{ m}$$

:

$$h f_1 = h_1 + h_2 \quad h f_1 = 3.13 \times 10^{-5} \text{ m} + 5.88 \times 10^{-6} \text{ m} \quad h f_1 = 3.72 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Cálculo de la gradiente de velocidad

Datos:

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = \text{Constante de valor } 3115 \text{ a } 20^\circ\text{C}$$

$$h_f = 3.72 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$T_1 = 900 \text{ s}$$

:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \cdot \sqrt{\frac{h_f}{t}}$$

$$G = 3115 \cdot \sqrt{\frac{3.72 \times 10^{-5}}{900}}$$

$$G = 0.63 \text{ s}^{-1}$$

Diseño y construcción de un equipo de floculación horizontal: El caso de un laboratorio universitario

Los cálculos realizados son el resultado de valores teóricos del dimensionamiento del floculador horizontal, para las dimensiones reales se redondearon.

Tabla 3: Resultados teóricos y reales del diseño del floculador horizontal

Parámetro	Unidad	Valor teórico	Valor real
Longitud del canal	m	4.8	
Sección del canal	m	0.051	
Ancho del canal	m	0.13	0.15
Ancho de vueltas	m	0.195	0.2
Ancho de floculadores	m	0.585	0.6
Número de canales	unidades	8.2	8
Longitud total	m	1.12	1.2

Fuente: Mejía, 2017

Ensayos de funcionalidad

A continuación, se presentan los resultados en tiempo de resiliencia que los colorantes se tardaron en recorrer en el floculador horizontal en la Tabla 4.

Tabla 4: Tiempo de resiliencia

Volumen [mL] PAC 5% (m/v)	Concentración de PAC [ppm]	Turbidez [UNI]		
		Velocidad Baja	Velocidad Media	Velocidad Alta
0.25 mL	12.5	120	100	60
0.5 mL	25	80	60	25
1 mL	50	40	30	0.5
2 mL	100	35	25	0.5

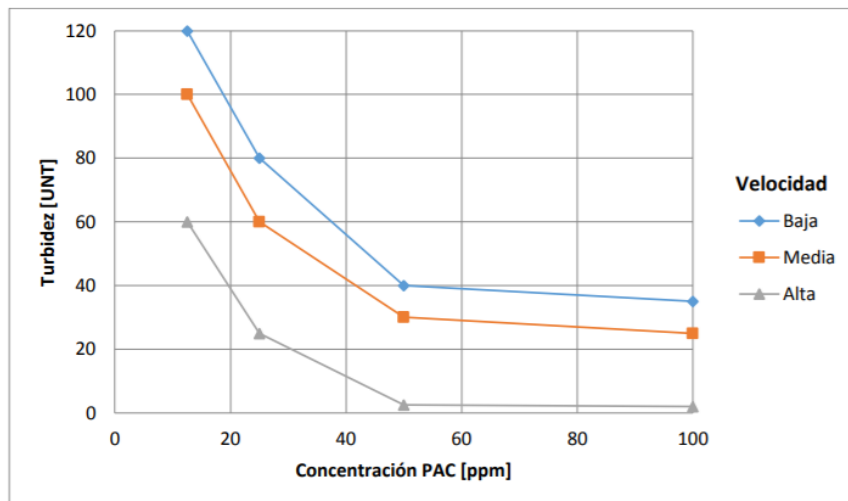
Fuente: Mejía, 2017

Tabla 5: Ensayo de dosificación del reactivo coagulante en 1 L de agua sintética

Volumen [mL] PAC 5% (m/v)	Concentración de PAC [ppm]	Turbidez [UNI]		
		Velocidad Baja	Velocidad Media	Velocidad Alta
0.25 mL	12.5	120	100	60
0.5 mL	25	80	60	25
1 mL	50	40	30	0.5
2 mL	100	35	25	0.5

Fuente: Mejía, 2017

Gráfico 3: Concentración PAC [ppm] vs turbidez [UNT] a distintas velocidades de agitación



Fuente: Mejía, 2017

Los ensayos que presentaron resultados de mayor remoción de turbidez se presentaron en los que ocuparon mayor velocidad de mezclado y por el contrario los de baja velocidad de mezclado tuvieron una baja remoción. En referencia a la concentración del coagulante PAC, se tomó el valor de 50 ppm por presentar una mejor reactividad.

Tabla 6: Ensayo de dosificación del reactivo floculante en 1 L de agua sintética

Volumen [mL] PoliA 0.25% (m/v)	Concentración de PoliA [ppm]	Formación de flocs		
		Baja	Media	Alta
0.25 mL	0.625	+	-	-
0.5 mL	1.25	++	-	-
1 mL	2.5	+++	+	-
2 mL	5	+++	+	-

+++ = Buena formación de flocs

++ = Media formación de flocs

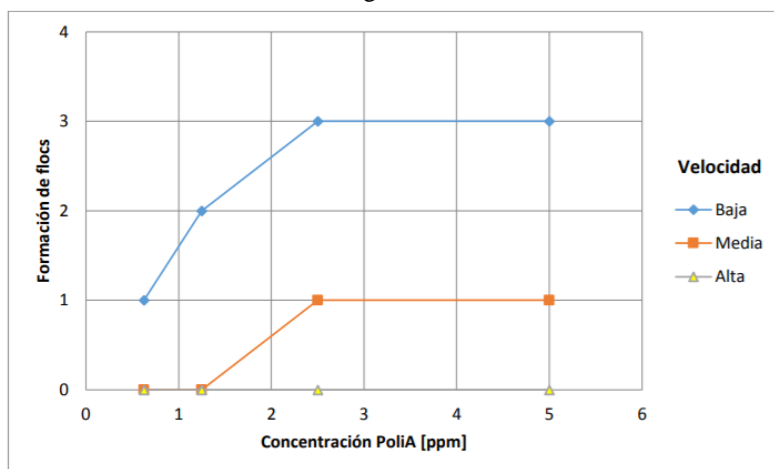
+ = Baja formación de flocs

- = Nula formación de flocs

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

Fuente: Mejía, 2017

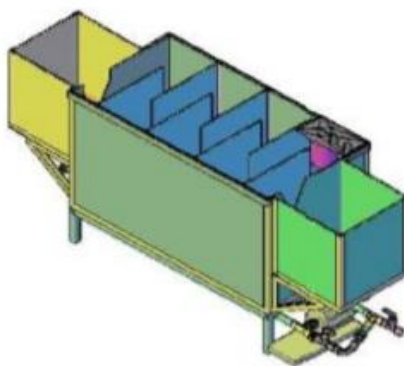
Gráfico 4: Concentración PoliA [ppm] vs formación de flocs a distintas velocidades de agitación



Fuente: Mejía, 2017

Los resultados de formación de flocs, determinó que la velocidad de mezclado baja presentan mejores resultados que aquellos que tuvieron una velocidad de mezclado alta tuvo una nula formación de flocs. La concentración floculante por su parte tomó el valor 2.5 ppm por tener una mejor formación de flocs.

Figura 2: Modelo 3d del floculador horizontal



Fuente: Autores, 2017

Diseño y construcción de un equipo de floculación horizontal: El caso de un laboratorio universitario

Figura 3: Floculador horizontal con agua sintética.



Fuente: Prueba piloto

Figura 4: Floculador horizontal con agua tratada



Fuente: Prueba piloto

Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran el resultado del diseño del floculador horizontal, que se concibió a través de los cálculos y ecuaciones adecuadas resultados de un proceso técnico establecido por CEPIS y se muestran mediante el modelo 3d y su construcción final.

Conclusiones

Se concluye que el diseño y construcción de un floculador horizontal para un laboratorio universitario resulta útil en gran medida desde el enfoque práctico debido a que se realizó un sistema que puede ser utilizado por los estudiantes de las diferentes carreras de la facultad de Ciencias.

Un aspecto relevante en el diseño y la construcción y su éxito radica en la correcta aplicación de los cálculos y ecuaciones y su dimensionamiento según sea el espacio y requerimiento del lugar en donde se va a implementar el floculador.

Se hace necesario la aplicación de diversas pruebas piloto y ensayos con el fin de que el floculador horizontal tenga resultados adecuados para que pueda ser utilizado, además de las pruebas realizadas en esta investigación se deben plantear el uso de distintas sustancias contaminantes en las muestras de agua para sí establecer el máximo alcance del floculador implementado.

Referencias

1. Costa, A., & de Pinho, M. (2004). Coagulation/flocculation/ultrafiltration for natural organic matter removal in drinking water production. *Water Supply*, 4(5–6), 215–222. <https://doi.org/10.2166/ws.2004.0111>
2. Element. (2020). *Physical & Chemical Properties of Water*. <https://www.element.com/more-sectors/environmental-testing/water-testing/physical-chemical-properties-of-water#:~:text=Physical%20characteristics%20of%20water%20look,as%20pH%20and%20dissolved%20oxygen.>
3. Equipos y laboratorios de Colombia. (2016). *FLOCULADORES*. <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/floculadores>
4. Frías, J. A. (1996). Sistemas expertos y catalogación descriptiva: Revisión bibliográfica. *Revista española de Documentación Científica*, 19(1), 21–38. <https://doi.org/10.3989/redc.1996.v19.i1.630>
5. Masojídek, J., & Torzillo, G. (2014). Mass Cultivation of Freshwater Microalgae ☆. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.09373-8>
6. Mejía, A., & León, G. (2017, 19 junio). *Dspace ESPOCH.: Diseño y construcción de un floculador horizontal para el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ciencias, ESPOCH*. D space Epoch. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6630>
7. Narayanan, B., & Hough, S. (2004). TAKING THE “WASTE” OUT OF WASTE ACTIVATED SLUDGE - NEW PROCESS CONFIGURATION USES WASTE ACTIVATED SLUDGE TO TREAT WASTEWATER MORE EFFICIENTLY. *Proceedings*

- of the Water Environment Federation*, 2004(14), 215–225.
<https://doi.org/10.2175/193864704784137152>
8. Rodríguez Miranda, J. P., García Ubaque, C. A., & Pardo Pinzón, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Tecnura*, 19(46), 149.
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12>
9. Spellman, F. R. (2020). *The Science of Water: Concepts and Applications* (4th ed.). CRC Press.
10. Yang, R., Li, H., Huang, M., Yang, H., & Li, A. (2016). A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment. *Water Research*, 95, 59–89.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.068>