



# Diseño e implementación de la etapa de floculación para un prototipo de planta de tratamiento de agua potable 'PTAP' en la Corporación universitaria Autónoma de Nariño.

Carlos Eduardo Pantoja Caicedo, Yinson Arbey Potosí Rosero

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño

Pasto Nariño

Carlosp0040@gmail.com, yinson19@gmail.com

**Resumen** — En los sistemas de purificación de agua el proceso de coagulación, floculación y sedimentación son fundamentales ya que gracias a estos se elimina el 90% de partículas coloidales suspendidas en el líquido, por lo cual en el siguiente estudio se plantea el diseño e implementación de un módulo para realizar la etapa de floculación la cual se integra con el resto de etapas conformadas para una planta de tratamiento de agua potable 'PTAP'. El agua puede recibir varios tipos de tratamientos para eliminar las partículas sólidas suspendidas, por lo cual se decide diseñar y construir un módulo didáctico en donde se realicen los procesos de floculación, coagulación y sedimentación, con el fin de retirar el mayor número de partículas que se encuentren suspendidas en el líquido, para que posteriormente el resto de partículas se representen en la etapa de filtrado, logrando purificar el agua para después generar el proceso de desinfección, alcanzando así la potabilización del agua.

**Abstract** — In water purification systems the process of coagulation, flocculation and sedimentation are fundamental because thanks to these it is eliminated the 90% of suspended colloidal particles in the liquid, so in the next study it is posed the design and implementation of a module to perform the flocculation stage which is integrated with the other stages formed for a drinking water treatment plant 'PTAP'. Water can receive several types of treatments to remove solid particles, so that a didactic module can be designed and built and where the processes of flocculation, coagulation and sedimentation are carried out, in order to remove as many particles as possible. They are found in the liquid, so that after the rest of the particles are represented in the filtering stage, the water can be purified to later generate the disinfection process, thus achieving the purification of the water.

**Palabras clave:** Plantas de tratamiento de agua, coagulación, floculación, sedimentación, partículas coloidales, potabilización, solución.

## I. INTRODUCCIÓN

Las fuentes de agua contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, las cuales pueden ser orgánicas o inorgánicas, existen partículas en suspensión las cuales por su tamaño y densidad pueden ser eliminadas fácilmente por el proceso de sedimentación, pero también contiene partículas llamadas coloidales y se especifica que tienen un tamaño menor a una micra y son las responsables de la turbidez en el fluido y su carga eléctrica superficial hace que se repelan constantemente impidiendo su aglomeración y formación de una partícula de mayor tamaño.

La carga eléctrica del mismo signo de las partículas coloidales generan un estado de repulsión entre ellas y debido a que entre los elementos más comunes suspendidos en el fluido vital son la arcilla, arena, entre otros los cuales contienen carga negativa impidiendo su unión para la separación del líquido por lo cual requieren un proceso físico químico en el cual se dosifica un electrolito para neutralizar la carga del coloide para eliminarlas por decantación<sup>1</sup>.

La neutralización o desestabilización de las cargas de las partículas coloidales en suspensión en las aguas es fundamental para lograr una buena purificación por coagulación, floculación y sedimentación

**Tabla 1.** Tipos de partículas y tiempos de decantación.

Tipo de Partículas	Diámetro (mm)	Tiempo de Caída	
		Densidad 2.65	Densidad 1.1
Grava	10	0.013 s.	0.2 s.
Arena Gruesa	1.0	1.266 s.	20.9 s.
Arena fina	0.1	126.66 s.	34.83 min.
Lodo fino	0.01	3.52 h.	58 h.
Bacterias	0.001	14.65 d.	249.1 d.
Coloides	0.0001	4.12 a.	66.59 d.

**Fuente:** Cárdenas, Yolanda. Tratamiento de agua. Coagulación y floculación.

Por medio de la investigación realizada a lo largo del desarrollo de este proyecto se encontraron los parámetros ideales para así generar la mayor eficiencia posible en el proceso y lograr retirar la mayor cantidad de las partículas disueltas por medio de un control

<sup>1</sup> ING. PEREZ, Jorge. Tratamiento de agua coagulación-floculación. Facultad de minas. Bogotá: Universidad Nacional.



automatizado en donde es fundamental el manejo de los siguientes datos:

1. Dosificación de la cantidad óptima de químicos.
2. Gradientes de velocidad para la mezcla rápida y mezcla lenta.
3. Tiempos de retención.

Los presentes datos encontrados a lo largo de la investigación son corroborados a través de pruebas con el fin de buscar la eficiencia que siempre se busca en la implementación de productos o procesos en ingeniería, buscando el mayor beneficio para la comunidad en general.

## II. OBJETIVOS

- Determinar bases teóricas sobre características físicas y necesidades técnicas para el diseño del prototipo.
- Diseñar la etapa de floculación para la unificación del prototipo de planta de tratamiento de agua potable.
- Construcción de la etapa de floculación en base al material bibliográfico y planos realizados.
- Validar los resultados obtenidos a partir de pruebas de funcionamiento en la etapa de floculación.
- Elaborar el manual de mantenimiento de la etapa de floculación del prototipo de planta de tratamiento de agua.

## III. METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolla a partir de la metodología inductiva, apoyada en el principio de la ingeniería concurrente ya que el planteamiento surge a partir de las necesidades interpretadas de los usuarios para realizar un diseño conceptual analizando la eficiencia de la máquina seguido del diseño de detalle donde se consideran aspectos funcionales por medio de simulaciones para así lograr la construcción del dispositivo y así comparar los datos ideales obtenidos en la investigación con los resultados obtenidos en las pruebas.

## IV. REFERENTES TEÓRICOS

A lo largo del tiempo la potabilización del agua ha sido un tema concurrido, ya que, con las industrias, la contaminación del agua es cada vez mayor, y su purificación se dificulta más dependiendo de las partículas que se han vertido sobre ella, es por esto que se generó una investigación minuciosa sobre métodos y resultados obtenidos de diferentes autores en cuanto a potabilización del agua, para así lograr una base teórica sólida y obtener los resultados esperados.

En cuanto a la floculación se encontró autores como el ingeniero Jairo Alberto Romero<sup>2</sup>, del American Water Works Association (AWWA), quien afirma que la floculación “es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados”. Del autor se sacó mucho provecho en los aspectos de diseño de la etapa de floculación y

sedimentación, tomando en cuenta ecuaciones y tomando valores óptimos experimentales como referencias para nuestra investigación.

Cárdenas Guzmán Andrés, aclara las características del agua potable obtenidas a partir de variaciones en las distintas etapas de una planta de tratamiento de agua potable, afirma que la coagulación, floculación y sedimentación son operaciones unitarias, ya que son procesos físico-químicos; en el caso de la floculación y de la sedimentación físicos, y la coagulación como un proceso unitario ya que implica transformaciones como resultado de una reacción química que involucra una o varias operaciones unitarias<sup>3</sup>.

De las anteriores bibliografías las cuales fueron las más relevantes para la investigación se deja claro que para el desarrollo del proyecto es necesario tener claro el concepto de operaciones y procesos unitarios ya que trabajando en conjunto y con los parámetros indicados se logra la mayor eficiencia en el módulo de floculación, los procesos unitarios son transformaciones que implican una reacción química, por lo cual se habla de la coagulación en donde se dosifica de una manera constante y uniforme sales de hierro o aluminio, orgánicas o inorgánicas, o bien sean polímeros de estas para lograr la neutralización o desestabilización de los coloides suspendidos en el agua, en cuanto a las operaciones unitarias nos referimos a transformaciones de tipo físicas, por lo cual la floculación entra en estas, ya que por medio de una mezcla lenta y controlada provocada por un agitador se mueven las partículas con la carga desestabilizada con el fin de lograr su unión y posteriormente pasar a la sedimentación en la cual la transformación química se rige por la Ley de Stokes, ya que al unirse las partículas forman flocs los cuales son lo suficientemente grandes para decantar y separarse del líquido sedimentando y por acción de barrido uniéndose a partículas más pequeñas para finalmente formar lodos residuales logrando la purificación.

En este sentido se debe tener muy en cuenta ciertas características físico-químicas iniciales antes de iniciar el proceso y características finales en el agua resultante, siendo la turbidez el parámetro físico principal pues es la causa que el agua pierda su transparencia lo cual implica una coloración oscura haciéndola más propensa a la absorción de calor de la luz solar dándose un aumento de temperatura, que es otro de los parámetros principales a tener en cuenta en el proceso ya que a mayor temperatura se reduce la concentración de oxígeno además del impacto estético ya que a pesar de en muchas ocasiones no se perjudicial para la salud no es agradable consumir líquido sucio o de color oscuro, la turbidez se mide por medio de unidades nefelométrías o NTU por sus siglas en inglés y según la organización mundial de la salud (OMS) un valor aceptable de turbidez en el agua como máximo es de 5, siendo 1 el ideal. Otro de los parámetros indispensables a tener en cuenta es el potencial de hidrógeno, ya que los químicos que se usan tienen cierto rango de pH en los cuales su función es óptima, dependiendo del que se use suelen variar en un rango de 5 a 9.

El dispositivo planteado en el proyecto a realizar tiene como finalidad aplicar todos los datos obtenidos a lo largo de la investigación para de alternativas de soluciones al problema tan relevante como lo es la escasez de agua potable, realizando un proceso eficiente con materiales fáciles de conseguir en el mercado local con costos moderados aplicando así conocimientos adquiridos en la experiencia universitaria

<sup>2</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación de agua. 3 ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.

<sup>3</sup> CARDENAS GUZMAN, Andrés. Diseño y construcción de una planta de tratamiento de agua potable a escala para el laboratorio de

hidráulica de la universidad santo Tomás. Proyecto de grado. Universidad santo Tomás. Bogotá. 2017

en la carrera de ingeniería mecánica aportando al desarrollo tecnológico y el crecimiento del departamento de Nariño.

## V. RESULTADOS

Teniendo claro los conceptos teóricos se procede a realizar el diseño y construcción del módulo de floculación, con posterioridad se implementará un control automatizado para así evitar cualquier tipo de error durante los procesos, obviando la manipulación o intervención humana del dispositivo. Todo esto con el fin de lograr la potabilización del agua.

**Figura 1.** Pruebas de funcionamiento del módulo floculador.



**Fuente:** La presente investigación - año 2018

En la figura 1 se presenta el módulo floculador terminado y realizando pruebas de funcionamiento aplicando la dosificación de la bomba peristáltica en la mezcla rápida, para lo cual se diseñó un vertedero rectangular con el fin de crear un régimen de flujo turbulento el cual es necesario para la hidrólisis del químico que en bases teóricas encontradas a lo largo de la investigación tales como la del autor Yaniris Lorenzo Acosta, en su estudio “estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación”<sup>4</sup> el policloruro de aluminio fue el más indicado para esto y posteriormente la desestabilización de las partículas coloidales, el tiempo de retención en el proceso de coagulación es prácticamente nulo ya que conforme se hace el llenado del tanque se realiza dicho proceso para posteriormente pasar a la floculación para lo cual se diseñó un agitador en acero inoxidable, un acople de ajuste rápido en acero inoxidable y un motor paso a paso NEMA 17 para lograr transmitir la fuerza necesaria y lograr la adsorción mutua entre coloides generando así floculos para la acción de barrido necesaria para la sedimentación.

El material elegido para la construcción del módulo de floculación fue acrílico de 2 milímetros de espesor ya que se requería crear un módulo didáctico con el fin de que se evidencie todo el proceso de purificación desde la entrada del agua hasta la salida de ella, para que los estudiantes de la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño dominen y apliquen conceptos básicos de hidráulica y así logren comprobar, mejorar y diferenciar los efectos que se dan en el líquido.

Los parámetros tales como la dosificación óptima de químicos fueron calculados en base al caudal de entrada en el vertedero

rectangular, para los gradientes de velocidad se tuvieron en cuenta bibliografías tales como la del ingeniero Jorge Arturo Pérez, tratamiento de aguas, en la cual nos otorga el procedimiento necesario para generar los respectivos cálculos según el volumen del tanque a diseñar y los tiempos de retención se valoraron de distintas bibliografías, aplicándolos en pruebas con el fin de corroborar cuales eran los más convenientes para el proceso.

En cuanto al sistema implementado para la automatización y control se decide utilizar una tarjeta arduino mega 2560 ya que cuenta con las entradas necesarias para los múltiples dispositivos a controlar, ubicada en la caja de paso que se mira por debajo del vertedero rectangular, en la cual también se pone una pantalla led para que el operario y quincees miren el proceso tengan datos en tiempo real del proceso tales como la turbidez, revoluciones por minuto del motor, activación y desactivación de las bombas peristáltica y sumergible, entre otros.

**Figura 2.** Pruebas de funcionamiento de la planta de tratamiento de agua completa.



**Fuente:** La presente investigación – año 2018

En la figura dos evidenciamos la planta de tratamiento de agua completa con todos los módulos armados y con el control funcionando ya que es necesario de todos los procesos para garantizar la potabilización del agua, los módulos presentes son:

1. Aireación.
2. Floculación.
3. Filtrado.
4. Desinfección.

## VI. CONCLUSIONES

Se identificaron los procesos y operaciones unitarias necesarias requeridas para lograr la mayor remoción de partículas suspendidas en el agua con los parámetros de diseño establecidos por distintos autores y entidades que a través de estudios y pruebas los han descubierto, tales como tiempo de retención, gradientes de velocidad, dosificación óptima del policloruro de aluminio para lograr la mayor eficiencia.

<sup>4</sup> ACOSTA, Yaniris. estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la caña de azúcar. 2006. Cuba.



Se realizó el diseño las etapas de coagulación, floculación y sedimentación teniendo en cuenta conceptos teóricos adquiridos durante la investigación realizada, en donde se analizó y definió el tipo de mecanismo más conveniente a usar, teniendo en cuenta las dimensiones y eficiencia que puedan brindar.

Se determinó que el uso de canaletas Parshall para el proceso de mezcla rápida se limita por el caudal bajo de diseño del módulo, por lo cual se decide optar por el uso de un vertedero rectangular logrando el gradiente de velocidad necesario y buenos resultados en la coagulación.

Se establecieron los materiales más convenientes para la construcción del módulo floculador teniendo en cuenta parámetros como resistencia, duración, economía y recomendaciones sugeridas en el RAS 2000 e interactividad de los materiales para la construcción de la estructura del dispositivo, de esta forma se establecieron el acrílico, acero inoxidable y acero estructural 1020 como los materiales más convenientes.

Se determinaron los dispositivos electrónicos más convenientes para el funcionamiento del módulo floculador teniendo en cuenta que se diseña un prototipo pequeño por lo cual los dispositivos deben ser acordes a las necesidades encontradas brindando resultados óptimos.

Se realizó la comparación entre un floculador hidráulico y uno mecánico obteniendo como resultado que el segundo es el más conveniente para la construcción en este proyecto, ya que las dimensiones se pueden modificar a conveniencia de las necesidades encontradas, mientras que los floculadores hidráulicos existen limitantes los cuales impiden cambiar dimensiones. El floculador hidráulico permite manipular dos dimensiones, mientras en el floculador mecánico se pueden modificar tres para un mismo volumen.

Se realizaron pruebas del módulo floculador donde se observa que el valor de turbidez de entrada disminuye con respecto al valor de turbidez de salida, obteniendo en valores de hasta 89% de sedimentos sólidos removidos en el proceso, obteniendo una alta eficiencia del proceso diseñado, cumpliendo con las exigencias del RAS 2000 según lo esperado.

Se determinó que los parámetros claves para lograr una alta eficiencia en el módulo floculador eran principal mente la dosificación óptima del químico y gradiente de velocidad para coagulación y la floculación, y el tiempo de retención en la floculación y sedimentación.

Se realizan pruebas de funcionamiento al dispositivo con el fin de determinar criterios claves que ayuden a entender mejor la importancia de los parámetros claves encontrados en el proceso investigativo para así transmitir esta información a quien mire el proceso por medio de la pantalla led.

## VII. RECOMENDACIONES

Es necesario saber la calidad del agua de entrada como turbidez inicial para así determinar el comportamiento del módulo floculador en operación a tiempo real y encontrar las variaciones que se generan en el proceso de purificación.

Se recomienda tener en cuenta la temperatura del agua de la entrada en el módulo de floculación ya que juega un papel importante en el proceso de floculación porque a mayor temperatura mayor viscosidad dinámica lo que significa mayor dificultad para mezclar el coagulante, flocular y sedimentar el agua en el proceso de purificación de agua.

Se recomienda la instalación de un mezclador mecánico, ya que si bien con el mezclador de tipo vertedero el cual funciona por la energía hidráulica que proporciona se obtuvieron buenos resultados, es posible que un mezclador mecánico consiga mejores resultados debido a que la agitación se podrá controlar y mejorar generando gradientes de velocidades específicos por cada proceso de purificación.

Es necesario tener en cuenta recomendaciones y especificaciones propuestas en el manual de operación para el correcto funcionamiento y larga durabilidad del módulo así mismo de los dispositivos electrónicos que se usan durante el proceso de purificación.

El módulo floculador está en la capacidad de eliminar gran porcentaje de sedimentos sólidos durante el proceso de purificación de agua, para completar el proceso de tratamiento de agua es necesario pasar por un filtro mineral y un proceso de desinfección para lograr la potabilización total del agua.

Con el fin de experimentar se pueden variar datos desde el código de control, lo cual se debe realizar teniendo los conocimientos básicos de programación, dando versatilidad en parámetros claves como tiempos de retención, gradientes de velocidad y dosificación de químicos, al igual que se puede usar sales de aluminio o hierro, siendo los más recomendados por el RAS 2000 las sales de aluminio como el sulfato de aluminio o alumbre como coagulante y sales de hierro como el sulfato férrico o cloruro férrico como floculante o polímeros que poseen ambas propiedades a la vez basándose en documentos legales para el correcto uso del procedimiento.

## VIII. REFERENCIAS

- [1]. ING. PEREZ, Jorge. Tratamiento de agua coagulación-floculación. Facultad de minas. Bogotá: Universidad Nacional.
- [2]. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación de agua. 3 ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.
- [3]. CARDENAS GUZMAN, Andrés. Diseño y construcción de una planta de tratamiento de agua potable a escala para el laboratorio de hidráulica de la universidad santo Tomas. Proyecto de grado. Universidad santo Tomas. Bogotá. 2017.
- [4]. ACOSTA, Yaniris. estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la caña de azúcar. 2006. Cuba.



PROHIBIDA SU COPIA