

## TIEMPO DE RETENCIÓN EN LOS FLOCULADORES DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA DE LA CIUDAD DE BARINAS

### (RETENTION TIME IN FLOCULATORS OF THE CITY OF BARINAS WATER POTABILIZING PLANT)

Fonseca, María<sup>1</sup>; Guevara, Jesús<sup>2</sup>; Lías, José<sup>3</sup>; Maldonado, Martín<sup>4</sup>; Millán, María  
Fernanda<sup>5</sup> Ramos, Yenni<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Ing petróleo MSc en docencia universitaria docente Asistente UNELLEZ  
maisabelfonseca@gmail.com

<sup>2</sup>Ing mecánico docente instructor UNELLEZ guevaravitriago@gmail.com

<sup>3</sup>Lcdo. químico, MSc química docente agregado UNELLEZ jliasdiaz@gmail.com

<sup>4</sup>Ing mecánico, MSc Biomecánica, docente asistente UNELLEZ  
martin.maldonado1983@gmail.co,

<sup>5</sup>Ing industrial, MSc en ambiente, docente instructor UNELLEZ mafer.millan@gmail.com

<sup>6</sup>Estudiante de Ing. en petróleo UNELLEZ yennyramosramos@gmail.com

Recibido: 25-04-2020 / Aceptado: 05-05-2020

#### RESUMEN

El agua es imprescindible para el mantenimiento de la vida. Durante los últimos años, la preocupación sobre la calidad del agua se ha convertido en motivo de alerta mundial. El 80% de los venezolanos no cuenta con un servicio continuo de agua corriente. La planta potabilizadora de agua de la ciudad de Barinas procesa el agua no potable proveniente del Río Santo Domingo para el consumo humano de un 40% de la población del Municipio. Entre los procesos de potabilización se encuentra la floculación que consiste en el aglutinamiento de las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. En los floculadores verticales, donde se inicia dicho proceso, se produce la aglomeración de las partículas desestabilizadas en microfloculos. El proceso de formación de enlaces y agregados es lento, se llegan a adoptar tiempos que van desde 10 a 30 minutos. Existe un tiempo óptimo para la floculación cuyo valor es desconocido en esta planta. La presente investigación tiene como objetivo calcular el tiempo de retención de los floculadores de la planta potabilizadora de la ciudad de Barinas, mediante la aplicación del método químico trazador, a través de una metodología experimental. Para lograr el objetivo, se seleccionó como trazador químico cloruro de sodio (NaCl). Según los cálculos planteados, el tiempo de retención teórico es 15 minutos, mientras que el ensayo práctico fue de 21 minutos que corresponde al tiempo de retención real del floculador, lo cual se encuentra dentro del rango aceptable.

Palabras clave: agua, floculador, Barinas, cloruro de sodio, trazador.

#### ABSTRACT

Water is essential for the maintenance of life. Over the past few years, concern about water quality has become a worldwide alert. 80% of Venezuelans do not have a continuous running water service. The water purification plant in the city of Barinas processes non-potable water from the Santo Domingo River for the human consumption of 40% of the municipality's population. Flocculation consists in the agglutination of the colloidal substances present in the water, thus facilitating its decantation and subsequent filtering. In vertical flocculators, where this process starts, agglomeration of the destabilized particles in microflocs occurs. The formation process of links and aggregates is slow; they get to adopt times that go from 10 to 30 minutes. There is an optimal time for flocculation. The objective of this research is to calculate the retention time of the flocculators of the water purification plant in the city of Barinas, by applying the chemical tracer method, using an experimental methodology. To achieve the objective, sodium chloride (NaCl) was selected as a chemical tracer. According to the calculations proposed, the theoretical retention time is 15 minutes, while the practical test was 21 minutes, which corresponds to the actual retention time of the flocculator, which is within the acceptable range.

Key words: water, flocculator, Barinas, sodium chloride, tracer.

## INTRODUCCIÓN

El agua es imprescindible para el mantenimiento de la vida. Las personas pueden pasar incluso meses sin comer, pero tan sólo pueden pasar algunos días sin beber agua. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2002) el agua disponible, “está ubicada lejos de las poblaciones humanas, lo que complica aún más las cuestiones relativas al aprovechamiento del agua.” (p. 150). La realización del derecho humano a disponer de agua es imprescindible para llevar una vida saludable, que respete la

dignidad humana. Es un requisito para la realización de todos los demás derechos humanos (Organización Mundial de la Salud, 2002).

Durante los últimos años, la preocupación sobre la calidad del agua se ha convertido en motivo de alerta a nivel mundial. En Venezuela, a pesar de contar con el recurso, su acceso es limitado: “El 80% de los venezolanos no cuenta con un servicio continuo de agua corriente, aun cuando el 92% declara tener acceso a tuberías”. (Asociación Civil Entorno,

Sociedad, Desarrollo y Ambiente ESDA, citado por el Diario 2001, 2018):

La tecnología actual permite convertir el agua no dulce en un producto que podemos consumir. Poco más del 3% del agua que existe en el mundo es dulce. Precisamente, este es el papel de la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Barinas: procesar el agua no potable proveniente del Río Santo Domingo para

el consumo humano de un 40% de la población del Municipio Barinas. La misma se encarga de recoger el agua superficial del río ya mencionado y procesarla para garantizar que sea apta para el consumo y tenga la calidad suficiente. Dentro de los procesos que abarcan la potabilización destacan: desinfección, estabilización de pH, eliminación de color y turbidez; para ello

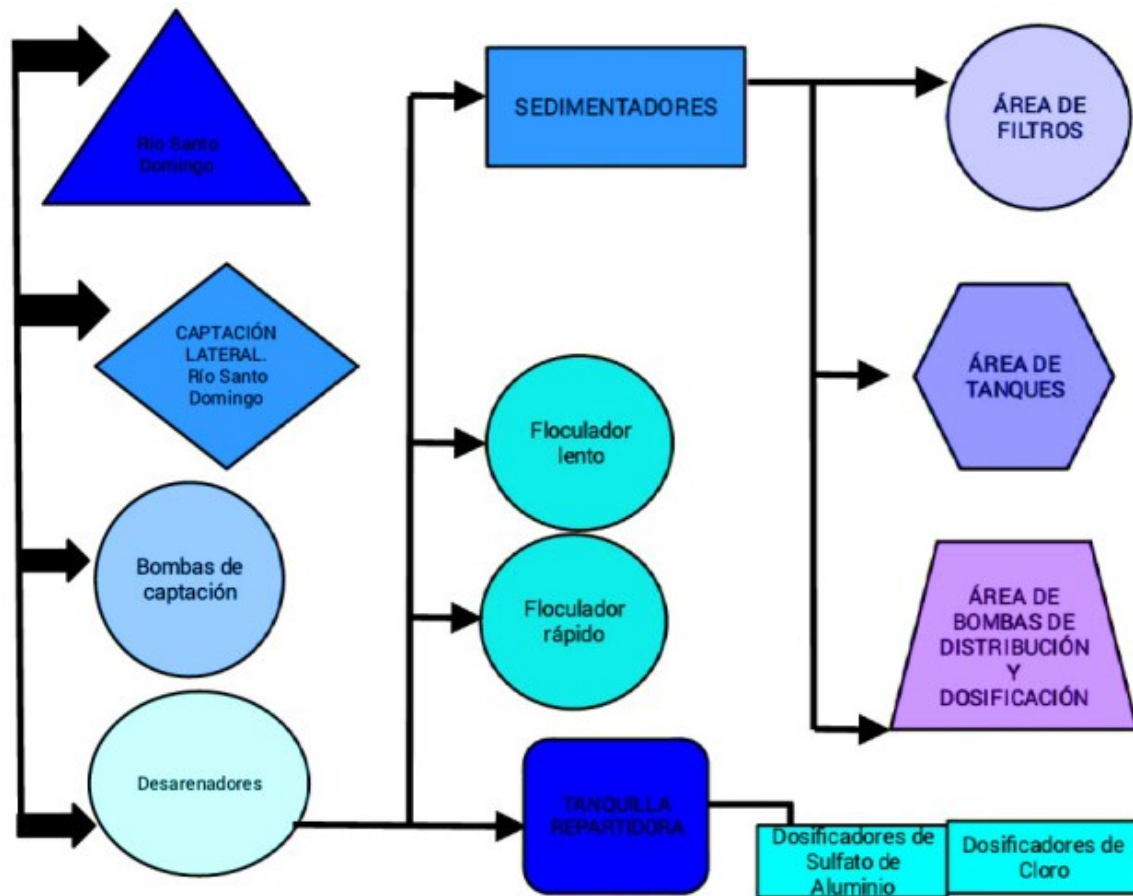


Figura 1: Procesos en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Barinas Hidroandes (2019).

se aplica la desarenación, pre-cloración, floculación, sedimentación, filtración y post-cloración (Ver Figura 1). La coagulación precede a la floculación. Ambos procesos permiten la retirada de elementos en suspensión, por ello es común que se denominan coagulación-floculación. El proceso de formación de enlaces y agregados es lento, se llegan a adoptar tiempos que van desde 10 a 30 minutos. (Suárez & otros, 2014, p. 24)

En la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Barinas el proceso de floculación se realiza por medio de cuatro (4) unidades hidráulicas, dos (2) de flujo vertical y dos (2) de flujo horizontal, donde el agua procedente del Río Santo Domingo se conduce primero a la tanquilla de repartición, la cual entrega un caudal de 132 lt/seg, de los cuales 99 lt/seg tributan a uno de los floculadores verticales (mezcla rápida), constituidos por un reactor hidráulico rectangular inclinado con un total de 18 tabiques

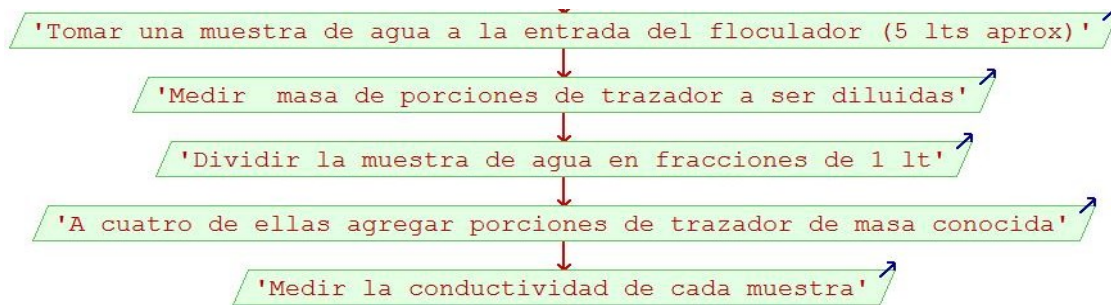
intercalados, donde se procede a la mezcla de los químicos de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , y gas-cloro. El volumen de esta unidad es de 87,16 m<sup>3</sup>.

Para visualizar el funcionamiento de una unidad como la descrita anteriormente, desde el punto de vista hidráulico, es conveniente utilizar una sustancia trazadora o reactiva la cual se inyecta en la entrada de la unidad y simultáneamente, se registra la concentración del trazador a la salida según el periodo establecido en el método.

El método químico trazador se usa en aquellas corrientes que presenten dificultades para la aplicación del método área - velocidad o medidas con estructuras hidráulicas, como en corrientes muy anchas o en ríos torrenciales. Los trazadores pueden ser de tres tipos: químicos; fluorescentes y materiales radioactivos. (Ver López & otros, 2014).

Es común el uso del término “tiempo de retención” para referirse al lapso necesario que debe transcurrir para que se cumpla un proceso determinado en un tanque o reactor de una planta. En todos los modelos propuestos para la floculación, la velocidad de aglomeración de las partículas en suspensión es

floculadores de la planta potabilizadora de la ciudad de Barinas, a fin de conocer la calidad del agua que existe en ella, ya que actualmente en la planta no se conoce este parámetro; por ello, se deben implementar estrategias que permitan estimar el tiempo de retención de la misma.



*Elaboración propia (2020).*

proporcional al tiempo de retención del floculador. Para cada condición particular, el tiempo óptimo para la floculación varía. Es necesario, por lo tanto, que se adopten medidas para aproximar el tiempo real de retención del floculador al tiempo óptimo para la floculación.

Es importante que se conozca el tiempo de retención teórico y real de los

La presente investigación tiene como objetivo calcular el tiempo de retención de los floculadores de la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Barinas, mediante la aplicación del método químico trazador.

### **Metodología**

La investigación de campo llevada a cabo está relacionada directamente con la modalidad experimental en un diseño de

corte transversal. El diseño metodológico planteado permite, en este caso, manipular la cantidad de trazador en función de conocer el tiempo de retención en los floculadores de la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Barinas.

### Materiales y procedimiento

*Materiales para generar la curva de calibrado:*

- Trazador.
- Conductímetro.
- Recipientes para toma de muestras.
- Balanza.
- Paquete informático.

**Figura 2.** Diagrama de Flujo:  
generación de la curva de calibrado

*Materiales para la determinación del tiempo de retención del floculador con el método trazador:*

- Trazador.
- Recipiente.
- Conductímetro.
- Cronómetro.

*Procedimiento para determinación del tiempo de retención del floculador con método trazador:*

1.- Ubicación del área para la realización



**Figura 2.** Floculador vertical. Planta potabilizadora de agua de la ciudad de Barinas. Elaboración propia (2020).

del ensayo: floculador de mezcla rápida de la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Barinas. Caudal de entrada 99 lt/seg.

1.- Establecer la masa del trazador a utilizar a través de una curva de calibración, mediante la ecuación:

$$M = \frac{V \cdot C_0}{I \cdot 10^3} \text{ Dónde:}$$

$M =$

Masa de trazador a añadir al reactor [kg]

$V =$  Volumen del reactor [ $m^3$ ]

$C_o =$  Concentración [mg/l] Tomada

de la Curva de Calibración.

$I =$

Grado de pureza del trazador (fracción de unidad) en el paso Nro. 4..

3. Verter la solución en la entrada del floculador.

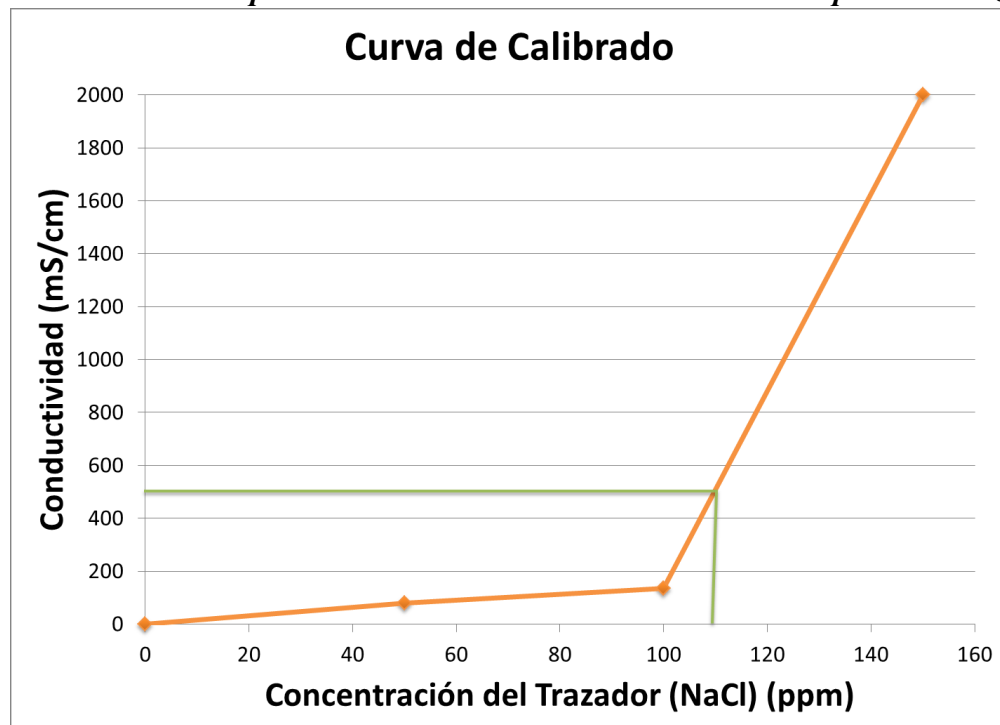
4. Medir la concentración en la salida del floculador en intervalos de tiempo de un minuto hasta que alcance el valor original obtenido

1. Diluir el trazador en un recipiente con agua procedente del floculador.
2. Medir la concentración original del agua en la entrada del floculador.

### Resultados

Para la medición del tiempo de retención real del floculador vertical de la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Barinas se seleccionó como trazador químico cloruro de sodio (NaCl). El valor

Gráfica 1. Curva de Calibrado para la determinación de la concentración óptima de trazador.



Elaboración propia (2020)

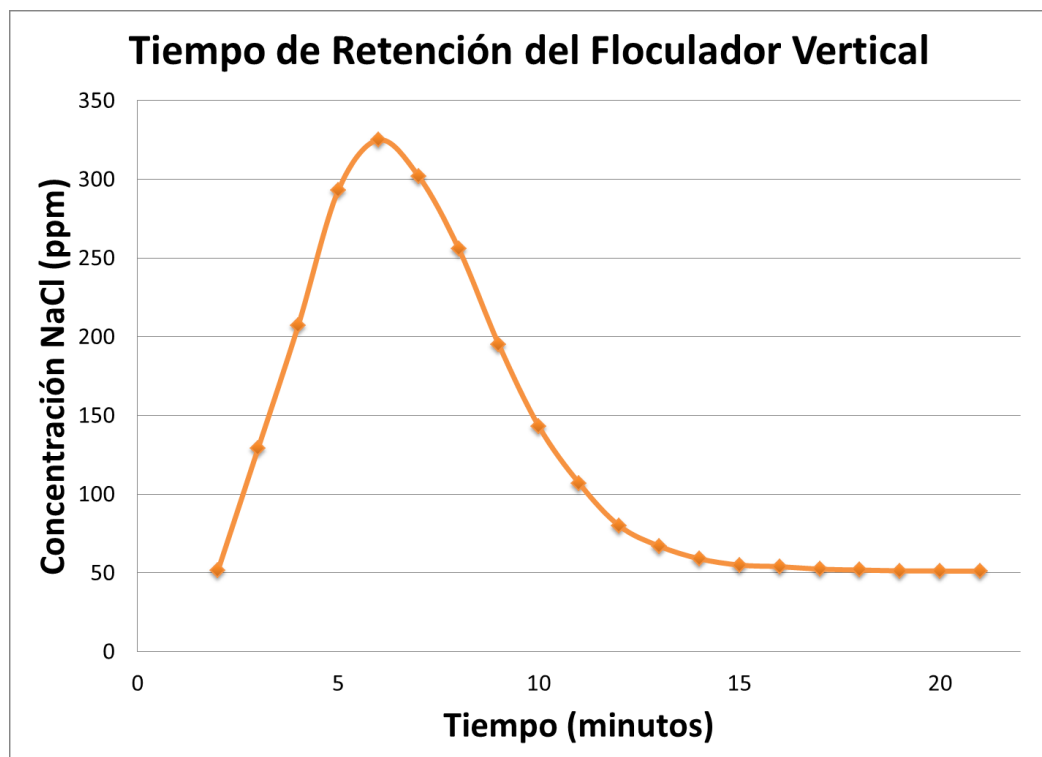
de concentración ( $C_0$ ) necesario para calcular la masa óptima de trazador a utilizar en el ensayo se establece a través de una curva de calibrado cuyo procedimiento fue detallado en la metodología.

A partir de la interpretación de la curva de calibrado que se muestra en la gráfica Nro. 1, se asume una concentración óptima de trazador para el ensayo en el floculador de 110 ppm que corresponde una variación notable de la conductividad de la muestra original.

Sustituyendo valores, la masa del

trazador equivale a 11,98 kg, la cual será vertida en la entrada del floculador al realizar el ensayo práctico.

La gráfica Nro. 2 muestra una curva en forma de campana con leve desviación hacia a la izquierda lo que describe el aumento drástico de la concentración de cloruro de sodio (NaCl) debido a que se agregó el trazador, alcanzando un máximo de concentración de 325 ppm. Posteriormente, dicho valor presenta un descenso debido al flujo entrante sin trazador, así mismo se hace una curva que llega a un punto de 65 ppm y termina con



**Gráfica 2.** Tiempo de Retención del Floculador  
Elaboración propia (2020).



leve una caída hasta que llega al mismo valor de blanco (51,1 ppm) una vez transcurridos 21 minutos, que corresponden al tiempo de retención real del floculador.

A fin de verificar que el valor del resultado práctico se encuentre por encima del valor teórico, se procede al cálculo teórico de acuerdo al modelo

matemático:  $t = \frac{v}{Q}$ . Donde,

$$t =$$

*tiempo teórico de retención (s)*

$$v = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$Q = \text{Caudal (m}^3\text{/s)}$$

Según los cálculos planteados el tiempo de retención teórico es de 15 minutos.

### **Conclusiones y recomendaciones**

- El tiempo de retención teórico del floculador de la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Barinas fue de 15 minutos, mientras que el obtenido

a través de la aplicación del método trazador fue de 21 minutos.

- Luego de llevar a cabo la estimación del tiempo de retención en los floculadores mediante el ensayo teórico por medio de un modelo matemático y el ensayo práctico, se pudo constatar que se obtuvo resultados satisfactorios que permiten la floculación de las partículas presentes en el agua, ya que las diferencias entre ambos resultados están ubicadas en un rango aceptable.
- La curva de calibrado para estimar la masa del trazador utilizada en el ensayo fue generada exitosamente con cuatro puntos.
- Se recomienda implementar la aplicación del método trazador químico para obtener los parámetros y la eficiencia de las

distintas unidades que componen la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Barinas, ya que su aplicación es sencilla y económica.

- Es recomendable corroborar los resultados obtenidos con otro tipo de trazador a fin de verificar la veracidad y exactitud de los mismos.

#### Referencias Bibliográficas

2001 online (2018) “Servicio de agua está raspado en ocho estados del país” Venezuela. Recuperado de: <http://www.2001online.com/en-la-agenda/196112/servicio-de-agua-esta-raspado-en-8-estados-del-pais.html>

Organización Mundial de la Salud (2002) “Agua para la salud: un derecho humano” Nota de Prensa. Ginebra – Suiza. Recuperado de:

<https://www.who.int/mediacentre/news/releases/pr91/es/>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2002) “Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2002 GEO-3” Nairobi Kenya. Recuperado de: <https://www.cbd.int/doc/meetings/nr/rw5nr-la-01/other/rw5nr-la-01-pnuma-es.pdf>

Suárez López, J; Jácome Burgos, A; Ures Rodríguez, P (2014) “Coagulación-Floculación” Universidad Da Coruña. España. Recuperado de: <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Coagulaci%C3%B3n-floculaci%C3%B3n.pdf/b59be3a9-558c-62c3-66e1-d89f82e3aae7>