



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

TITULO DEL PROYECTO:
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE CLARIFICADOR DE
MANTO DE LODOS

PRESENTADO POR:

| | |
|--|---------------|
| JAVIER ANDRES VELASQUEZ SANCHEZ | 504599 |
| MONICA NATHALIA OSUNA MORENO | 504364 |

BOGOTÁ, D. C., Mayo de 2017

Nota de aceptación:

Firma del Director

Firma del Jurado

Bogotá D.C Mayo del 2017



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| LISTA DE IMÁGENES | 6 |
| LISTA DE TABLAS | 7 |
| RESUMEN | 8 |
| PALABRAS CLAVE | 9 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 10 |
| 2. ANTECEDENTES | 11 |
| 2.1 ANTECEDENTES..... | 11 |
| 3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 13 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 13 |
| 4. OBJETIVOS | 14 |
| 4.1 GENERAL..... | 14 |
| 4.2 ESPECÍFICOS..... | 14 |
| 5. JUSTIFICACIÓN | 15 |
| 6. ALCANCES Y LIMITACIONES | 16 |
| 7. MARCO DE REFERENCIA | 17 |
| 7.1 MARCO CONCEPTUAL..... | 17 |
| 7.1.1 Gradiente de velocidad. | 17 |
| 7.1.2 Teoría de floculación. | 18 |
| 7.1.3 Teoría de la sedimentación. | 19 |
| 7.1.4 Aspectos en la eficiencia de los clarificadores. | 21 |
| 7.2 MARCO TEÓRICO | 22 |
| 7.2.3 Elementos de un clarificador de manto de lodos..... | 23 |
| 8. METODOLOGÍA..... | 27 |
| 8.1 ESQUEMA DEL CLARIFICADOR Y MONTAJE | 27 |
| 8.2 PREPARACIÓN DEL AGUA PROBLEMA..... | 29 |
| 8.3 DETERMINACIÓN DE DOSIS DE COAGULANTE | 30 |
| 8.4 MEZCLA RÁPIDA Y LENTA | 31 |

| | | |
|-------|---|----|
| 8.5 | RECIRCULACIÓN | 32 |
| 9. | DISEÑO METODOLÓGICO | 33 |
| 9.1 | DISEÑO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO | 33 |
| 9.1.1 | Parámetros de diseño | 33 |
| 10. | RESULTADOS..... | 39 |
| 10.1 | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 47 |
| 11. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 49 |
| 12. | GLOSARIO | 51 |
| | BIBLIOGRAFIA..... | 54 |
| | ANEXOS..... | 56 |

LISTA DE IMÁGENES

| | |
|---|----|
| Imagen 1: Perfil de Sedimentación Floculable | 20 |
| Imagen 2: Diseños Básicos de clarificadores de Contacto | 23 |
| Imagen 3: Esquema y Montaje del Clarificador..... | 28 |
| Imagen 4: Test de Jarras | 30 |
| Imagen 5: Partículas de floc y lodo sedimentado..... | 32 |
| Imagen 6: Perfil de Concentración de Sólidos | 34 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Parámetros iniciales agua problema | 29 |
| Tabla 2: Resultados Prueba 1 | 39 |
| Tabla 3: Resultados prueba 2 | 41 |
| Tabla 4: Resultados prueba 3 | 43 |
| Tabla 5 : Resultados prueba 4 | 45 |

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis se presentan los parámetros de diseño y construcción de un prototipo de clarificador de manto de lodos, utilizando el principio de la floculación ortocinética. El Diseño tiene como fin la evaluación de un proceso de clarificación de aguas utilizando un mecanismo de floculación y sedimentación en una misma unidad. Los parámetros de diseño se tomaron de la guía de diseño de clarificadores de manto de lodos de la Universidad de Delf, Holanda, en donde de acuerdo con el Caudal de diseño (0.010 L/s) y la tasa de retención hidráulica recomendada de 2 a 3 horas¹, las dimensiones del clarificador son el área superficial 0.072 m² de 0.30 m de diámetro, 1.20 m de altura y un volumen total de 70 L. Se hizo el montaje del sistema, este se compone de por el prototipo en acrílico y un tanque superior que proporciona la recirculación para la formación del manto de lodos. Se hicieron 4 pruebas de laboratorio realizando los procesos de mezcla rápida y lenta, floculación y sedimentación para un agua problema captada en el tanque de recolección de aguas lluvias de la Universidad Católica de Colombia y se le adiciono una dosis de 0.096 g/l de bentonita para obtener una turbiedad de 30 NTU, en el clarificador construido. Al finalizar el proceso se obtuvo mediciones para el manto de lodos y un efluente cercano a los 2 NTU.

¹ Michigan Department of Environmental Quality Operator Training and Certification Unit, 2017

PALABRAS CLAVE

CLARIFICADOR: Se trata de máquinas que se utilizan para separar sólidos de un líquido por medio del fenómeno físico de la gravedad y los movimientos del agua haciendo que los sólidos floten o se hundan según su densidad.²

MANTO DE LODOS: Acumulación de lodos que están en suspensión hidrodinámica dentro de un cuerpo de agua o de agua residual.³

MEZCLA RAPIDA: Dispersión rápida del coagulante en toda la masa de agua, mediante una agitación violenta para lograr que el compuesto del coagulante, esté casi inmediatamente en contacto con todos los coloides y los desestabilice.⁴

MEZCLA LENTA: Para que el floc se forme, es necesario que las partículas choquen unas con otras, a fin que se aglutinen y formen granos pesados. Esto se consigue promoviendo el choque entre las partículas desestabilizadas mediante mezcla suave.⁵

TURBIEDAD: La turbiedad se define principalmente a arcillas en dispersión en el agua, la arcilla es tierra firme (0,002 mm de diámetro de grano o menos), a veces coloreada, que al mezclarla con poca agua se vuelve plástica.⁶

SEDIMENTACION: La sedimentación o decantación consiste en la separación de partículas que por la acción de gravedad y por su peso superior al peso específico del agua se precipitan al fondo.

² DACTCHEMICAL, 2017

³ AQUAMARKET, 2017

⁴ ⁵, ⁶ PEREZ, 1970. Tratamiento de Aguas.

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento del agua es un proceso que integra una serie de operaciones y etapas, mediante el cual se eliminan sustancias y/o microorganismos que este posee, con el fin de que este recurso sea apto para el consumo humano cumpliendo con los parámetros establecidos (organolépticos y físico- químicos).

En las etapas por las cuales se somete el agua a tratar se encuentran los clarificadores de manto de contacto, que son sistemas de potabilización no convencionales denominados “sedimentadores especiales”, dicho sistema integra procesos de floculación y sedimentación empleando la filtración como mecanismo de eliminación incluyendo sólidos de menor tamaño. Teniendo en cuenta la importancia de los clarificadores de manto de contacto en las plantas de tratamiento de agua, se realiza el diseño de un prototipo que tiene como principal objetivo medir la eficacia de un sistema no convencional.

2. ANTECEDENTES

2.1 ANTECEDENTES

La universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Área de Ingeniería Sanitaria a partir del año 2008, lleva adelantado una línea de investigación en el estudio de clarificadores de contacto como alternativa de potabilización con floculación denominada “Análisis de procesos y optimización de la clarificación en sistemas con clarificadores de contacto”, en el cual se han realizado diseños de prototipos de clarificadores de contacto en grava, para caudales entre 2 y 20l/s, en aplicaciones como remoción de hierro y manganeso demostrando su potencial de mejoramiento de la calidad del agua de captaciones subterráneas.

Respecto a la clarificación por manto de lodos la universidad del Valle ha llevado a cabo experimentos mediante simulación computacional, donde se considera la remoción en un reactor como un tanque de agitación continua utilizando diferentes dosis de coagulante y realizando los respectivos comparativos. Water Environment Federation ha realizado modelos matemáticos de construcción de clarificadores de contacto (1997), y este fue aplicado para evaluar el diseño de un clarificador circular que tiene un centro de alimentación y la configuración del vertedero efluente periférico.⁷

El proyecto de investigación parte de estos análisis y propone realizar un diseño de un prototipo de clarificador de contacto de manto de lodos. Se busca principalmente medir la eficiencia en cuanto a los procesos de floculación y sedimentación en una sola unidad para realizar comparativos respecto a procesos

⁷ Water Environment Federation, Applications of Computational Fluid Dynamics Models <http://www.assetler.com/COKTURME%20TANKLARI%20TASARIMI.pdf> p-346

existentes en plantas de tratamiento convencionales o con otros prototipos de floculación y sedimentación, usando como parámetros la medición de la turbidez de agua clarificada.

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Dentro de los procesos normales para el tratamiento de agua, se han elaborado proyectos que permiten el estudio y viabilidad del proceso de floculación y sedimentación para generar optimización en cuanto a los recursos utilizados para construir un proceso convencional y al mismo tiempo comparar la efectividad económica que puede obtenerse frente a la construcción del mismo.

En el transcurso del tiempo en la mayoría de plantas de tratamiento de agua potable se han manejado procesos convencionales de floculación y sedimentación que han hecho que el proceso del agua y su aprovechamiento para el consumo humano sean eficaces y al mismo tiempo de óptima calidad pero frente a esto:

¿Se puede contemplar un sistema de floculación por manto de lodos como alternativa en el tratamiento de agua potable?

Por ende se enfatiza por medio del presente proyecto en la construcción de un prototipo de Clarificador de manto de lodos que permite que los recursos utilizados en un proceso convencional de floculación y sedimentación sean optimizados al realizar ambos procesos en una sola estructura no convencional que permita el manejo de potabilización del agua de una forma rápida y también economizando al máximo el espacio utilizado en la infraestructura que requiere frente a un prototipo convencional.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo de clarificador de manto de lodos a nivel de laboratorio.

4.2 ESPECÍFICOS

- Diseñar un prototipo experimental de floculador de manto de Lodos.
- Realizar pruebas de funcionamiento con el prototipo construido utilizando como coagulante sulfato de aluminio.
- Analizar la eficiencia para el proceso de floculación y sedimentación del agua problema utilizando el prototipo.

5. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo está enfocado a proporcionar datos a partir de pruebas realizadas experimentalmente para que pequeñas y medianas comunidades tengan mayor criterio en la elección de estructuras hidráulicas más eficientes y económicas en su operación respecto a la potabilización del agua. Se pretende evaluar la eficiencia en la utilización de un clarificador de manto de lodos durante los procesos de floculación y sedimentación, esto teniendo en cuenta que cada día se hace necesaria la optimización de recursos en la construcción y optimización del proceso de tratamiento del agua por medio de un sistema avanzado que permita la realización de estas dos etapas en un mismo sistema.

6. ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente proyecto contempla todos los procedimientos necesarios para la ejecución del clarificador de manto de lodos. El estudio se encuentra enfocado en realizar los procesos de floculación y sedimentación en un solo sistema implementando la recirculación de floc para generar un manto de lodos donde las partículas del mismo ganan peso en la zona intermedia del tanque principal y se sedimentan hacia el fondo de la estructura, logrando así una turbiedad menor en la superficie y haciendo que el agua se clarifique.

Se trabajó con un prototipo de clarificador construido en el laboratorio de plantas de tratamiento de la universidad Católica de Colombia en el cual se implementó el funcionamiento del mismo para la obtención de los resultados.

Este proyecto se puede implementar como mecanismo de clarificación de agua en sectores de mediana industria donde el agua lluvia debe ser almacenada y tratada en tanques para someterse a un proceso de clarificación y realizar su posterior reutilización con diferentes fines. Las limitantes contenidas en el presente proyecto se pueden ver al momento de realizar la clarificación para mayores volúmenes de agua, debido a que para este fin se requieren clarificadores con mayor capacidad.

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1 MARCO CONCEPTUAL

7.1.1 Gradiente de velocidad.

El gradiente de velocidad medido a través del diámetro de un canal de flujo de fluido, ya sea en una tubería, en el espacio anular o en otra forma. La velocidad de corte es el índice al que cambia la velocidad a la que una capa de fluido pasa sobre una capa adyacente. Como ejemplo, consideremos que un fluido se coloca entre dos placas paralelas que están a 0.01m de distancia; la placa superior se mueve a una velocidad de 0.01m/s y la placa inferior está fija. La capa del fluido en la placa inferior no se mueve y la capa más próxima a la placa superior se mueve a 0.01m/s. A medio camino entre las placas, una capa se mueve a 0.05 m/s. El gradiente de velocidad es el índice de cambio de la velocidad con la distancia de las placas. Este caso simple muestra el gradiente de velocidad uniforme con una velocidad de corte $(v_1 - v_2)/h = \text{velocidad de corte} = (\text{m/s})/(\text{m/1}) = 1/\text{s}$. Por lo tanto, las unidades de velocidad de corte son segundos recíprocos.⁸

El gradiente medio de velocidad que se tendrá en cuenta para el diseño del clarificador de manto de lodos es el de mezcladores mecánicos, que se define en función de la potencia específica entregada al fluido (potencia P / volumen V) y la viscosidad dinámica del fluido (μ), como se presenta en la siguiente ecuación:⁹

$$G = \left(\frac{P}{\mu V}\right)^{\frac{1}{2}}$$

⁸ SCHULUMBERGER, 2017

⁹ RIOS, y otros, 2002, valuación de las ecuaciones utilizadas para determinar el gradiente medio de velocidad en floculadores mecánicos.

7.1.2 Teoría de floculación.

Los floculantes son polímeros o poli electrolitos con pesos moleculares muy elevados moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga. Dentro de los floculantes más conocidos está el sulfato de aluminio, sulfato férrico, cloruro férrico y aluminato sódico.

El propósito de la floculación es el reunir partículas desestabilizadas formando aglomeraciones que ganan mayor peso y tamaño para que se sedimenten con mayor eficiencia.¹⁰

Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte:

Floculación pericinética, Floculación ortocinética, sedimentación diferencial

Floculación Pericinética

Se encuentra producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.¹¹

Floculación Ortocinética

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.¹²

¹⁰ SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA, 2000

¹¹ SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA, 2000

¹² SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA, 2000

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microfloculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinética luego se produce la floculación ortocinética.

Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas, se precisa de la floculación pericinética para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microfloculo inicial.

7.1.3 Teoría de la sedimentación.

El proceso de sedimentación llevado a cabo en clarificadores representa el más importante proceso unitario de separaciones mecánicas de sólido-líquido. El diseño y operación simple de los clarificadores aunados a un bajo costo (relativo a otros procesos como centrifugación y filtrado) lo ha hecho una pieza de equipo bastante popular para el tratamiento de grandes volúmenes de líquido.¹³

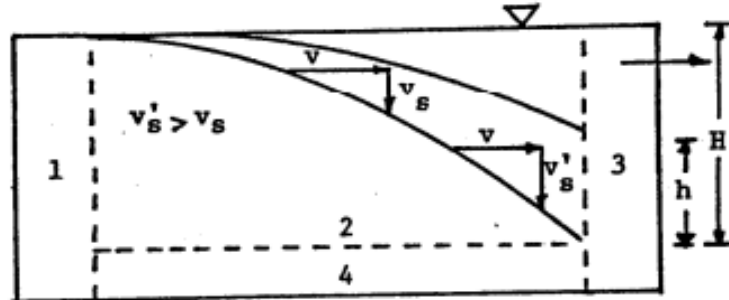
En los clarificadores de contacto de sólidos se presentan los tipos 2 y 3 de sedimentación.

La sedimentación de tipo 2 los floculos formados por los coagulantes químicos o los crecimientos de las zoogreas, tienden a aglomerarse (fenómeno llamado coalescencia), se forman cúmulos de diferentes tamaño, forma y peso. Normalmente, estos se sedimentan con mayor rapidez que las partículas o

¹³ ZATARAIN DEL CASTILLO , 1988

floculos que los constituyen. Los floculos se juntan cuando chocan entre sí. En la imagen 1 se puede observar el perfil de la sedimentación floculable.¹⁴

Imagen 1: Perfil de Sedimentación Floculable



Fuente: Teoría de la Sedimentación, Zarain

Dónde:

1. Zona de Entrada
2. Zona de Sedimentación
3. Zona de Salida
4. Zona de Lodos¹⁵

En la sedimentación tipo 3 se debe analizar el conjunto de sólidos, debido a las mutuas interferencias entre partículas que hace que estas formen un manto de lodos que flota en el líquido y dependiendo de las características de la suspensión se puede dar una sedimentación denominada "autointerferida".¹⁶

¹⁴ ZATARAIN DEL CASTILLO , 1988

¹⁵ ZATARAIN DEL CASTILLO , 1988

¹⁶ ZATARAIN DEL CASTILLO , 1988

7.1.4 Aspectos en la eficiencia de los clarificadores.

Camp y Stein en 1943, desarrollaron una expresión que permite calcular el número de colisiones entre partículas en la unidad de tiempo con flujo turbulento, relacionándola con el gradiente de velocidad así:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{G}{6} n_1 n_2 (d_1 + d_2)^3$$

Existen n_1 partículas de diámetro d_1 y n_2 partículas de diámetro d_2 por unidad de volumen y estas son cantidades fijas y el gradiente de velocidad en toda la masa líquida, se puede expresar el número de choques entre los tipos de partículas.

Considerando d_2 es mucho mayor que d_1 :

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{G}{6} n_1 n_2 d_2^3$$

Ives (1968) desarrollo uno de los primeros estudios teóricos de clarificación de mantos de lodos basado sobre los principios de la floculación ortocinética con el manto, el propuso que la remoción de partículas está basada en la ecuación.

$$\frac{nt}{n_0} = \exp\left(-\frac{GC}{\pi}\right)$$

Donde n_t y n_0 son el número de partículas que han entrado al tanque y después de un tiempo t respectivamente G es el gradiente de velocidad C es la concentración de la suspensión.

$$\frac{\text{Volumen de partículas de floculo}}{\text{Unida de Volumen Unitario}} = r * n_2 d_2^{3/6}$$

$$\frac{\pi * n_2 * d_2^3}{o} = C$$

$$-\frac{dn_1}{dt} = G \left(\frac{n_1 C^3}{R} \right)$$

Integrando entre n_0 y t_n

$$nt = n_0 e^{6Ct/r}$$

Por otra parte el tiempo de detención promedio en un manto se define como:

$$t_d = \frac{\text{masa de solidos en el tanque}}{\text{masa afluyente de solidos por unidad de tiempo}}$$

Se puede decir que $G * T * C$ clarificadores $>$ $G * T * C$ floculadores y sedimentadores convencionales.¹⁷Ej Floculadores Horizontales.

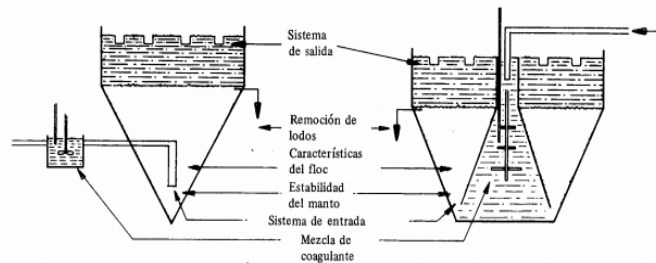
7.2 MARCO TEÓRICO

Se considera un sistema de clarificador de contacto de lodos aquel sistema que maneja unidades de tratamiento generalmente de flujo vertical en el cual uno o los dos procesos de floculación y sedimentación se realizan reteniendo para su

¹⁷ CRUZ VELEZ, 2016
Curso de Sistemas de Potabilización con Clarificadores de Contacto

utilización posterior una parte del floculo previamente formado. Esto se logra por la configuración de los procesos ya sea en una sola estructura.¹⁸

Imagen 2: Diseños Básicos de clarificadores de Contacto



Fuente: Dereck. G Miller. Reactores de Contacto de Solidos.

7.2.3 Elementos de un clarificador de manto de lodos.

- Sistema de Vertedero
- Zona de Clarificación
- Tubo de Entrada
- Zona de recogida de lodos
- Zona de decantación con sistema para recoger agua.
- Construcción circular o al menos lo más simétrica posible
- Recirculación de lodo, con el fin de favorecer la floculación y la coagulación de barrido.

La velocidad del flujo en cualquier clarificador decrece luego de la interface entre manto y agua superior de estabilidad al manto.¹⁹

¹⁸ CRUZ VELEZ, 2016

Curso de Sistemas de Potabilización con Clarificadores de Contacto

La principal desventaja de este tipo de estructura, radica en que su operación incluye un nivel mayor de control a comparación de un sistema convencional. Aunque las ventajas tienen mayor peso, los clarificadores de manto de lodos han sido poco estudiados en nuestro país y, por consiguiente, es muy bajo su uso.

Actualmente en Colombia los clarificadores de manto de lodos no son muy utilizados, por consiguiente, es muy bajo su uso en las plantas de tratamiento, el principal alcance del proyecto es analizar los prototipos de clarificadores de manto de lodos frente a las plantas convencionales, y demostrar con ello que la aplicación y uso de estos mecanismos de bajo costo son efectivos y sostenibles para la sociedad.

Se han realizado proyectos relacionados con este tipo de estructuras no convencionales en la ciudad de Medellín dentro del cual al agua problema del acueducto del municipio de Medellín se le agrego caolín para producirse una turbiedad específica y donde se realizó un prototipo a escala para laboratorios en material de acrílico con un Volumen total de $5.084 \times 10^{-3} m^3$. Para este prototipo se realizaron ensayos en forma aleatoria para minimizar el efecto que otros factores no incluidos en el análisis pudieran tener sobre los resultados.

De acuerdo con el volumen y el área superficial del clarificador evaluado, la carga superficial de $35 m^3/m^2 \cdot día$ corresponde a un caudal de 167,5 L/día y a un tiempo de retención hidráulica (TRH) teórico de 2562 s, mientras que para la carga superficial de $70 m^3/m^2 \cdot día$ el caudal fue de 335 L/día y el TRH teórico de 1314 s. Para ambas condiciones de operación, el clarificador presentó predominancia de flujo tipo pistón, según el ensayo de trazadores efectuado.

¹⁹ MILLER G, 1990. Reactores de contacto de Solidos.

En los ensayos realizados con el agua se consiguieron remociones de turbiedad que superaron el 99 % y, por tanto, se obtuvo agua con turbiedades menores de 2 UNT que es el valor máximo establecido para aguas de consumo humano.²⁰

Otro lugar donde se desarrolló el proyecto de clarificador de agua fue el valle del cauca en el municipio de Yumbo, que opera con un clarificador de contacto y filtración rápida a presión.²¹

Usos del Modelo El modelo puede ser usado en un amplio rango de posibles aplicaciones, tanto en la representación operacional como de diseño de escenarios. Ejemplos de uso el modelo como herramienta operacional incluye:

- Determinación del efecto de cambios súbitos en la calidad del agua cruda.
- Estudio del efecto de cambios en el caudal (tasa de operación).
- Estimación del caudal máximo posible a tratar mientras se mantiene una buena calidad del agua tratada.
- Determinar los efectos de temperatura sobre las eficiencias.
- Estimar la tasa optima al cual se deben realizar las purgas de lodo para obtener buen control del manto
- Cuando hay una batería de clarificadores en una planta, para estudiar el efecto de sacar un clarificador fuera de servicio para limpieza en la eficiencia de calidad del efluente de los otros clarificadores

En una situación de diseño, el modelo puede ser usado para estudiar el comportamiento de una nueva planta en la anterior a la instalación o a estimar el

²⁰ WILLS, y otros, 2010. Evaluación de un Clarificador de manto de Lodos a Escala de Laboratorio.

²¹ CRUZ VELEZ, 2016 Curso de Sistemas de Potabilización con Clarificadores de Contacto

incremento en el tamaño del clarificador requerido para tratar un incremento de caudal en las mismas unidades.²²

A nivel internacional se han llevado a cabo estudios en donde se han utilizado modelos computacionales dinámicos que han simulado mejoras en los diseños, los resultados han arrojado mejores eficiencias en el tratamiento de agua, sin embargo tiene limitaciones ya que los modelos asumen que la mezcla liquido-sólidos puede ser tratada como un equivalente, y tienden a ignorar transferencias de calor superficial y densidades, aspectos importantes en los afluentes.²³

²² CRUZ VELEZ, 2016, Curso de Sistemas de Potabilización con Clarificadores de Contacto

²³ WATER ENVIRONMENT FEDERATION , 2005

8. METODOLOGÍA

8.1 ESQUEMA DEL CLARIFICADOR Y MONTAJE

Como iniciativa del trabajo desarrollado se parte de la estructuración realizada para el clarificador, el sistema se compone de dos estructuras para lograr su funcionamiento óptimo dentro del cual se encuentra el tanque principal en acrílico con un diámetro de 0.3 m, una altura de 1.2 m y un área superficial de 0.706 m², que a su vez cuenta con una capacidad de 70 L y un tanque elevado a una altura de 2,40m del piso con una capacidad de 25 L con un dimensionamiento más pequeño que el del reactor principal, la función que cumple el tanque elevado es abastecer de floc nuevo el reactor principal y de que este mismo se mezcle con las partículas de floc viejas produciendo una recirculación y generando un floc de tamaño más grande que pueda generar la sedimentación de los lodos de una forma más efectiva, ambos tanques se verán conectados por tuberías en PVC de ½" para comunicar entre si la circulación de agua, al final de la estructuración de la tubería se observa una curva que tiene como función principal reducir la energía del agua que procede del tanque elevado, esto debido a que si el agua sale con mucha presión, el floc se puede romper en el sistema.

La altura de 2,40 m a la cual se ubicó el tanque elevado fue analizada de tal modo que el sistema cumpliera con una adecuada presión de entrada de agua no tan rápida pero tampoco tan lenta de tal modo que la recirculación se podrá observar y el floc no se romperá, cabe aclarar que del tanque elevado llegara el floc nuevo a la estructura principal, donde se obtuvo un floc más grande y se sedimentó a satisfacción.

Imagen 3: Esquema y Montaje del Clarificador



Fuente: Los Autores

8.2 PREPARACIÓN DEL AGUA PROBLEMA

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó agua lluvia captada dentro de las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia durante los meses de febrero y marzo del año 2017.

Los parámetros iniciales del agua a tratar obtenidas en laboratorio fueron las siguientes:

Tabla 1: parámetros iniciales agua problema

| PARÁMETROS | VALOR |
|--|-------|
| Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 72,4 |
| Resistividad ($\text{k}\Omega$) | 13,72 |
| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | 18 |
| Solidos Suspendidos (mg/l) | 38,8 |
| Salinidad | 0 |
| pH (unidades de pH) | 6,83 |
| Oxígeno (mg/l) | 0,76 |
| % Oxígeno | 10,6 |

Fuente: Los autores

Como propuesta inicial y definitiva se trabajó con un agua que obtuviera una turbiedad de 30 NTU para lo cual se adicionó una cantidad de bentonita que fue debidamente dosificada en el laboratorio, para lograr este parámetro se adicionó 0.095 gramos de bentonita por cada litro de agua, es decir, la cantidad de bentonita agregada al agua para obtener su turbiedad inicial en el tanque principal fue de 6,58 g que se obtiene del producto entre los 0,094 g/l y los 70 l de capacidad del tanque principal.

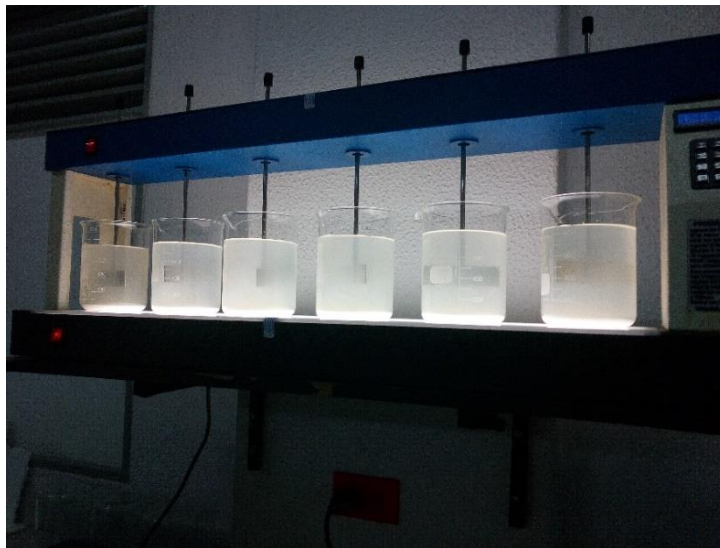
Al igual que en el anterior procedimiento se agregó la bentonita necesaria al tanque elevado dando una cantidad de bentonita de 2,35 g para lograr la misma

turbiedad en el agua que contenía el tanque principal, ya que ambos tanques deberían estar alimentados con el agua problema en las mismas condiciones.

8.3 DETERMINACIÓN DE DOSIS DE COAGULANTE

Se procedió a realizar la prueba de alcalinidad para determinar la dosis del coagulante necesario, la cual arrojó un resultado de 24mg/L de carbonato de calcio $CaCO_3$ en el agua problema, por lo tanto para el test de jarras se determinó que la dosis necesaria de coagulante sería de 38 ml de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en una concentración de 0,1 g/l, esto partiendo de la observación de las seis jarras donde se dedujo entre todas la dosificación adecuada en la jarra que mejor floc produjera.

Imagen 4: Test de Jarras



Fuente: Los autores

De acuerdo a la prueba del test de jarras se determinó que la dosis óptima de coagulante de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$, fuera de 70 ml/L.

Partiendo de la anterior observación, se dedujo la dosificación adecuada de coagulante a agregar al tanque principal y al tanque elevado que dejó como reacción la formación del floc en ambos tanques y así se produjo la sedimentación de lodo en el tanque principal.

8.4 MEZCLA RÁPIDA Y LENTA

Para la mezcla rápida se implementó un tiempo de mezcla de 1 minuto, (60 segundos) la misma fue efectuada con aire a una presión constante de 10 PSI (0.069 Mpa) donde se logró que el coagulante necesario para el tanque principal fuera mezclado totalmente con el agua problema, continuando con el procedimiento, se realizó la mezcla lenta donde inmediatamente pasado el minuto de la mezcla rápida se disminuyó la presión a 4 PSI (0.028 Mpa) donde se dejó mezclando el coagulante por un tiempo de 20 minutos, este mismo procedimiento se efectuó en el tanque elevado pero cabe aclarar que la dosificación de coagulante para ambos tanques no fue aplicada al mismo tiempo, puesto que en ambos tanques tenía que haber una diferencia de tiempo necesaria para que se produjera el floc en el tanque principal, siendo de esta manera el floc viejo el que se formó en el tanque principal y floc nuevo el que se formó en el tanque elevado, la diferencia de tiempo con la cual se aplicó el coagulante a cada tanque fue de 20 minutos, (1200 segundos) es decir se aplicó el coagulante necesario para el tanque principal y se realizó la mezcla rápida y lenta, después de haber realizado este procedimiento con el tanque principal, se procedió a aplicar el coagulante necesario al tanque elevado y a realizar el mismo procedimiento, tiempo durante el cual se tomaron datos de las turbiedades obtenidas en el tanque principal con el agua en reposo.

8.5 RECIRCULACIÓN

Una vez que el tanque elevado terminó de realizar la mezcla rápida y la mezcla lenta, se procedió a dejar en reposo el agua durante 10 minutos (600 segundos), esto debido a que los 10 minutos (600 segundos), de diferencia, son el tiempo necesario para que formen floc en el tanque principal, después de transcurrido dicho periodo de tiempo se procede a realizar la apertura de la válvula que permite el paso de agua del tanque elevado al tanque principal, lo que generó una recirculación de floc en el mismo y así las partículas de floc viejas se unieron a las partículas de floc nuevas, este procedimiento formó un floc más grande que se fue sedimentando por su aumento de peso y así generó la sedimentación del lodo en el fondo del tanque principal.

Imagen 5: Partículas de floc y lodo sedimentado



Fuente: Los autores

9. DISEÑO METODOLÓGICO

9.1 DISEÑO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO

9.1.1 Parámetros de diseño

Los parámetros que se usaron para el diseño del clarificador de manto de lodos fueron tomados de la guía de diseño de un clarificador de la universidad de Delf, Holanda, el tamaño del clarificador está determinado por el caudal (Q L/s) y por el tiempo de retención hidráulica. (T_r) s.

La característica del clarificador de manto de lodos diseñado es de flujo vertical, de fondo cónico, de tipo hidráulico con recirculación, sin vertedero de lodos. El diseño busca que se cumpla el proceso de mezcla, floculación y sedimentación en una misma unidad, en el que las partículas de lodo quedan suspendidas debido a la fuerza de arrastre del agua ascendente.

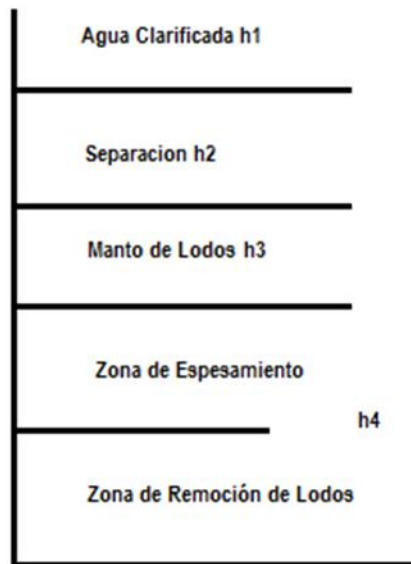
Dada la alta concentración de partículas que hay en un manto de lodos, existe una mutua interferencia en la velocidad de sedimentación con que caen, de modo que el manto se puede considerar como un filtro de flujo ascendente, en el que los gramos del medio filtrante están constituidos por coágulos pre desestabilizados, suspendidos por la fuerza ascensional de fricción del flujo.²⁴

En el proceso, el floc no conserva su peso específico, su tamaño ni su forma constante. Antes bien las partículas pequeñas que entran en el fondo son arrastradas por el flujo. Al chocar estas con otras, incrementan su tamaño, hasta adquirir un volumen tal que, se disgregan por el esfuerzo cortante, o suspenden su ascenso y caen chocando con las que suben. Para obtener un buen rendimiento,

²⁴ TEORIA, DISEÑO Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACION DEL AGUA, CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE, CEPIS., 1973

debe ponerse especial atención a la forma como se hace la entrada del agua. Demasiada turbulencia puede producir perturbaciones que afecten el manto de lodos.

Imagen 6: Perfil de Concentración de Sólidos



Fuente: Design of Final Clarifiers- Universidad de la Florida

Sobre la base de muchas mediciones prácticas en tanques circulares y rectangulares, se ha demostrado que la velocidad de carga superficial se encuentra entre 0.3-0.4 ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$.) La carga superficial de lodo está dada por:

$$V_s = V_o * X_a * \frac{SVI}{1000}$$

Donde:

- Velocidad de Carga Superficial: V_o ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$).
- Concentración de sólidos suspendidos: X_a (g/l)
- Índice de volumen de Lodos: SVI en (ml/g)

El índice de Volumen de lodos (SVI) es un indicador que define el volumen ocupado en mililitros por gramo luego de un tiempo de sedimentación.

SVI < 90 ml/g – excelente sedimentabilidad

90 < SVI < 150 mL/g – buena sedimentabilidad

SVI > 150 mL/g – malas condiciones de sedimentabilidad²⁵

9.1.2 Cálculo de dimensiones

Para el diseño del clarificador experimental, se tomaron los siguientes parámetros de acuerdo a los ejemplos descritos en la guía de diseño de un clarificador prototipo Universidad de Delft, Holanda.

Caudal de diseño:

$$Q = 0.010l/s$$

Concentración de Solidos Suspendidos:

$$Xa = 4g/l$$

Factor de Recirculación:

$$fr = 0,5$$

²⁵ Calculos básicos ptar Canelones. 2012

SVLR:

Tasa de Carga de Volumen de lodos.²⁶

$$SVLR = 0,3 \frac{m^3}{m^2 * h}$$

SVI:

Índice de Volumen de Lodos

$$SVI = 100mg/l$$

De acuerdo a los parámetros de diseño tenemos:

$$0,010 \frac{l}{s} * 86400 \frac{s}{1d} * \frac{1m^3}{1000l} = 0,864m^3/d$$

Tasa de Carga de Volumen de lodos

$$V_s = V_o * X_a * SVI/1000$$

$$V_o = \frac{0,3 * 1000}{4 * 100}$$

$$V_o = 0,75 \frac{m}{h}$$

$$V_o = 18m/d$$

$$Q_r = f_r * Q(m^3/d)$$

$$Q_r = 0,5 * 0.864m^3/d$$

$$Q_r = 0,432 m^3$$

²⁶ SVLR, Sludge Volume Loading Rate. Guía de diseño Clarificador Universidad de Delf

$$Q_T = Q + Q_r$$

$$Q_T = 0,864m^3/d + 0,432m^3/d$$

$$Q_T = 1,296m^3/d$$

$$Q_T = 1,5 \times 10^{-5}m^3/s$$

Donde:

Q : Caudal m^3/dia

Q_r : Caudal de recirculación m^3/dia

Q_T : Caudal total m^3/dia

Calculo de diámetro:

$$V_o = \frac{Q_T}{A}$$

$$A = \frac{Q_T}{V_o}$$

$$A = 1,296(m^3/d)/18(m/d)$$

$$A = 0,072m^2 \quad d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad d = \sqrt{\frac{4 * 0,072m^2}{\pi}} \quad d = 0,30 m$$

Donde:

V_o : Velocidad de carga superficial

A : Área (m)

d : Diámetro (m)

Volumen Cilindro:

$$Volumen cilindro = 0,90m * 0,072m^2$$

$$Volumen cilindro = 0,0648 m^3$$

Volumen Cono:

$$Volumen\ cono = \frac{0,30m * 0,072m^2}{3} \quad Volumen\ cono = 0,0072\ m^3$$

Volumen total:

$$Volumen\ total = Volumen\ cilindro + Volumen\ cono$$

$$Volumen\ total = 0,0648m^3 + 0,0072m^3$$

$$Volumen\ total = 0,072m^3 \quad Volumen\ total = 70\ l$$

De acuerdo a las recomendaciones de la EPA para diseño de clarificadores se sugiere un tiempo de retención hidráulica (Tr) entre dos y tres horas. ²⁷

Verificación tiempo de retención:

$$Tr = \frac{Vt}{Q} \quad Tr = \frac{0,070m^3}{0,864\ m^3/d} \quad Tr = 0,084d$$

$$Tr = 0,084d * \frac{24h}{1d} \quad Tr = 2\ h \quad Tr = 7200s$$

²⁷ MICHIGAN DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY OPERATOR TRAINING AND CERTIFICACION UNIT, 2017

10.RESULTADOS

LABORATORIO 1:

Tabla 2: Resultados Prueba 1

| |
|-------------------|
| PRUEBA 18/03/2017 |
|-------------------|

| CONDICIONES INICIALES | |
|---|------------|
| TURBIEDAD INICIAL DEL AGUA EN EL REACTOR | 30 NTU |
| TURBIEDAD INICIAL DEL AGUA EN EL TANQUE ELEVADO | 29.9 NTU |
| MEZCLA RAPIDA | 1 minuto |
| MEZCLA LENTA | 20 minutos |

| REGISTRO DE TURBIEDADES OBTENIDAS | | | | |
|-----------------------------------|--|--|--|--|
|-----------------------------------|--|--|--|--|

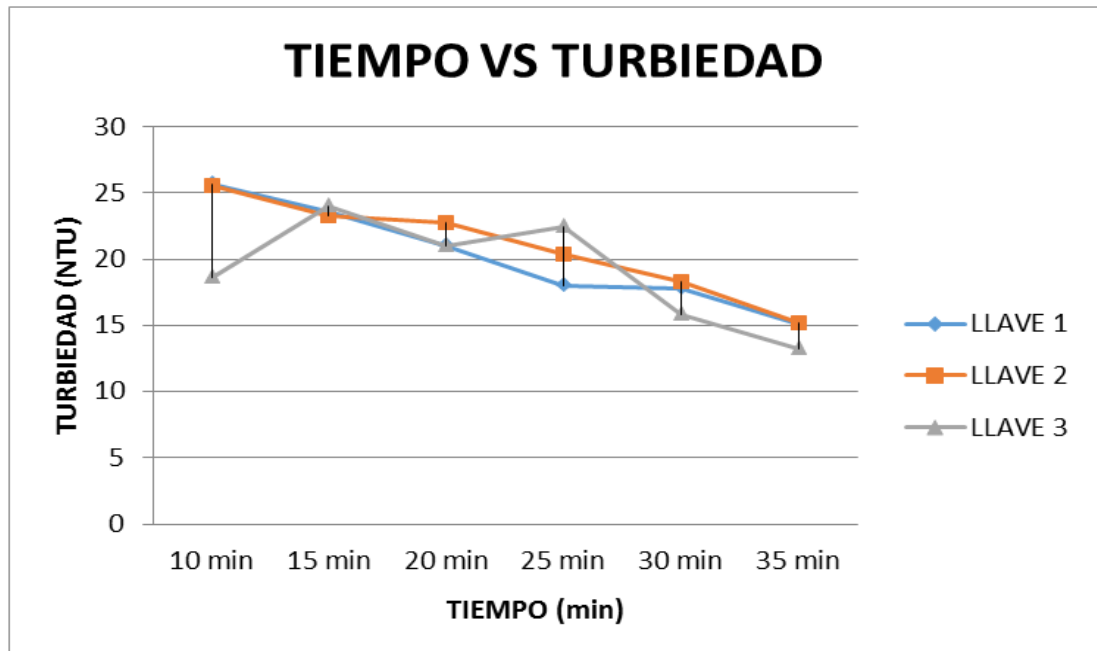
| | | LLAVE | | |
|--------------|------------|-------|------|------|
| TIEMPO (min) | SUPERFICIE | 1 | 2 | 3 |
| 10 | - | 25,7 | 25,6 | 18,6 |
| 15 | - | 23,6 | 23,3 | 24 |
| 20 | - | 21 | 22,8 | 21 |

| CON RECIRCULACIÓN | | | | |
|-------------------|------------|------|------|------|
| TIEMPO | SUPERFICIE | 1 | 2 | 3 |
| 25 | - | 18 | 20,4 | 22,4 |
| 30 | - | 17,8 | 18,3 | 15,8 |
| 35 | - | 15,1 | 15,2 | 13,2 |

Fuente: Los Autores

Gráfica tiempo vs. Turbiedad

Grafica 1: Tiempo vs Turbiedad prueba 1



Fuente: Los Autores

En la siguiente gráfica se puede observar como las turbiedades inicialmente tienden a ser mayores en la llave número 2, pero con el paso del tiempo tienden a disminuir y a los 25 minutos después de realizar la mezcla rápida la turbiedad se va concentrando en la parte inferior del tanque debido a que no se tiene aún un tiempo óptimo de recirculación y por ende el floc se va sedimentando.

LABORATORIO 2:

Tabla 3: Resultados prueba 2

| |
|-------------------|
| PRUEBA 25/03/2017 |
|-------------------|

| CONDICIONES INICIALES | |
|---|------------|
| TURBIEDAD INICIAL DEL AGUA EN EL REACTOR | 30 NTU |
| TURBIEDAD INICIAL DEL AGUA EN EL TANQUE ELEVADO | 29.9 NTU |
| MEZCLA RAPIDA | 1 minuto |
| MEZCLA LENTA | 20 minutos |

| REGISTRO DE TURBIEDADES OBTENIDAS | | | | |
|-----------------------------------|--|--|--|--|
|-----------------------------------|--|--|--|--|

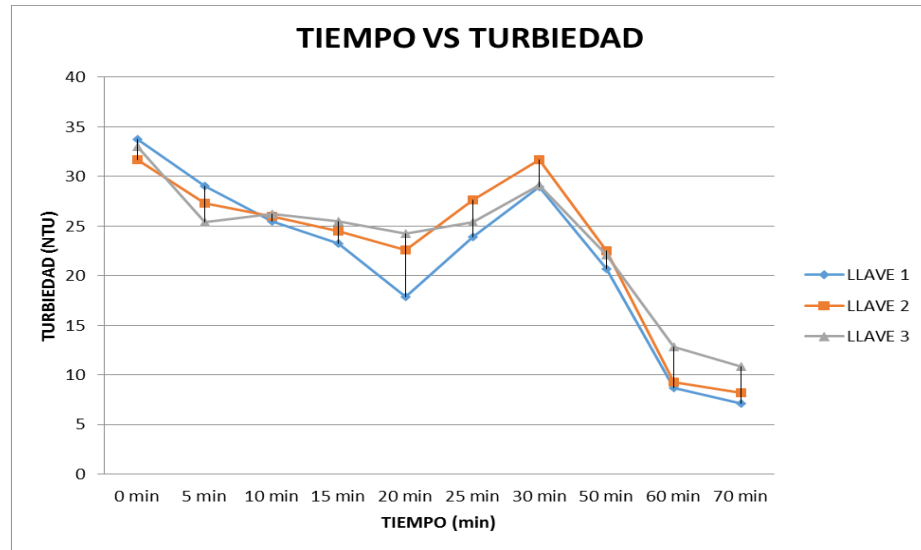
| TIEMPO (min) | SUPERFICIE | LLAVE | | |
|--------------|------------|-------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 0 | - | 33,7 | 31,7 | 33 |
| 5 | - | 29 | 27,3 | 25,4 |
| 10 | - | 25,5 | 26 | 26,2 |
| 15 | - | 23,2 | 24,5 | 25,5 |
| 20 | - | 17,9 | 22,6 | 24,2 |

| CON RECIRCULACIÓN | | | | |
|-------------------|------------|------|------|------|
| TIEMPO | SUPERFICIE | 1 | 2 | 3 |
| 25 | - | 23,9 | 27,6 | 25,4 |
| 30 | - | 28,9 | 31,7 | 29,1 |
| 50 | - | 20,7 | 22,5 | 22,1 |
| 60 | - | 8,69 | 9,25 | 12,8 |
| 70 | - | 7,13 | 8,17 | 10,8 |

Fuente: Los autores

Gráfica tiempo vs. Turbiedad:

Grafica 2: Tiempo vs Turbiedad prueba 1



Fuente : Los autores

En esta prueba se puede observar como las turbiedades cambian acorde al comportamiento del sistema, desde que la mezcla rápida termina hasta un transcurso de 20 minutos se logra que las turbiedades mayores se concentren en la parte superior del tanque, pasados 20 a 50 minutos se puede deducir que se va formando el manto de lodos y las turbiedades mayores se concentran en la zona intermedia del tanque principal, lo que pone en evidencia que el floc va ganando peso y se va sedimentando arrojando turbiedades mayores en la llave número 3 que representa la parte inferior del reactor.

LABORATORIO 3:

Tabla 4: Resultados prueba 3

| |
|-------------------|
| PRUEBA 29/03/2017 |
|-------------------|

| CONDICIONES INICIALES | |
|---|------------|
| TURBIEDAD INICIAL DEL AGUA EN EL REACTOR | 30 NTU |
| TURBIEDAD INICIAL DEL AGUA EN EL TANQUE ELEVADO | 29.9 NTU |
| MEZCLA RAPIDA | 1 minuto |
| MEZCLA LENTA | 20 minutos |

| REGISTRO DE TURBIEDADES OBTENIDAS | | | | |
|-----------------------------------|--|--|--|--|
|-----------------------------------|--|--|--|--|

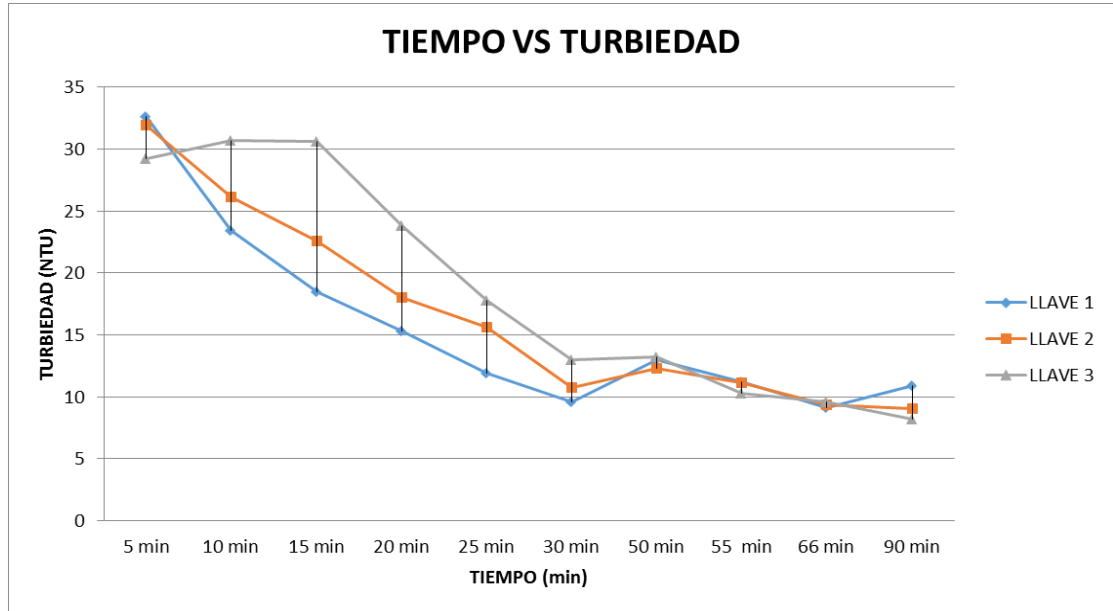
| TIEMPO (min) | SUPERFICIE | LLAVE | | |
|--------------|------------|-------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 5 | - | 32,6 | 31,9 | 29,2 |
| 10 | - | 23,4 | 26,1 | 30,7 |
| 15 | - | 18,5 | 22,6 | 30,6 |
| 20 | - | 15,3 | 18 | 23,8 |
| 25 | - | 11,9 | 15,6 | 17,8 |
| 30 | - | 9,6 | 10,7 | 13 |

| CON RECIRCULACIÓN | | | | |
|-------------------|------------|------|------|------|
| TIEMPO (min) | SUPERFICIE | 1 | 2 | 3 |
| 50 | - | 13 | 12,3 | 13,2 |
| 55 | - | 11,2 | 11,1 | 10,3 |
| 66 | - | 9,1 | 9,36 | 9,55 |
| 90 | - | 10,9 | 9,05 | 8,18 |

Fuente: Los autores

Gráfica tiempo vs. Turbiedad:

Grafica 3: Tiempo Vs Turbiedad prueba 3



Fuente: Los autores

En esta gráfica se puede analizar que la mayor turbiedad se genera en los primeros 30 minutos en el fondo del tanque, pero al paso del tiempo las turbiedades tienden a disminuir notoriamente y las mayores se concentran en la llave número 2, lo que permite evidenciar que se está formando un manto de lodos pero a diferencia del laboratorio número 3 el agua se está clarificando más rápido pues las turbiedades tienden a tener valores parecidos.

LABORATORIO 4:

Tabla 5 : Resultados prueba 4

| |
|-------------------|
| PRUEBA 01/04/2017 |
|-------------------|

| CONDICIONES INICIALES | |
|---|------------|
| TURBIEDAD INICIAL DEL AGUA EN EL REACTOR | 30 NTU |
| TURBIEDAD INICIAL DEL AGUA EN EL TANQUE ELEVADO | 29.9 NTU |
| MEZCLA RAPIDA | 1 minuto |
| MEZCLA LENTA | 20 minutos |

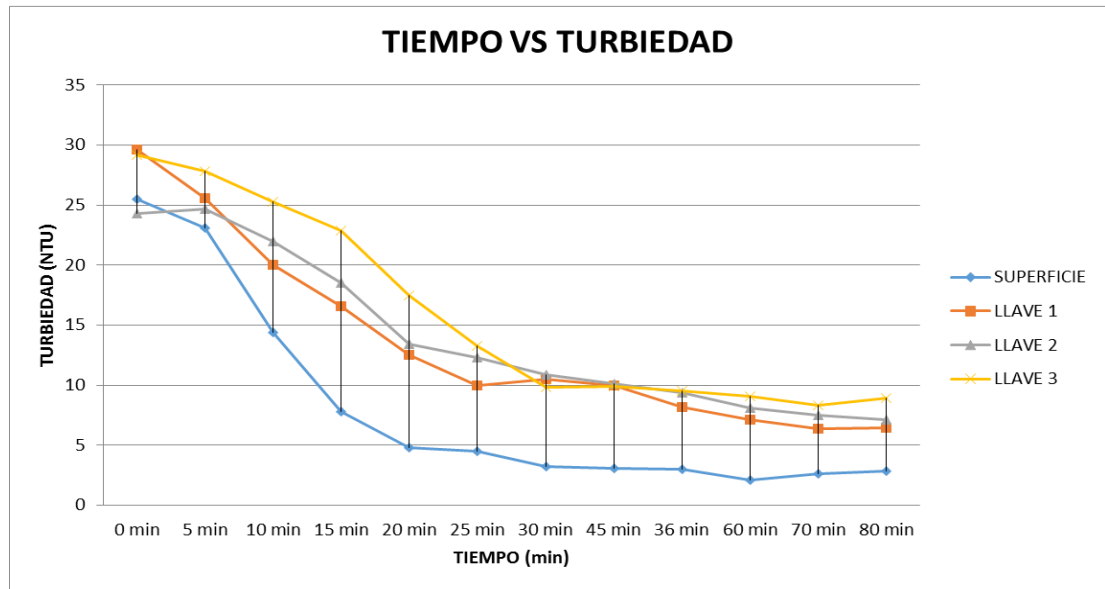
| REGISTRO DE TURBIEDADES OBTENIDAS | | | | |
|-----------------------------------|--|--|--|--|
|-----------------------------------|--|--|--|--|

| TIEMPO | SUPERFICIE | LLAVE | | |
|------------------------|------------|-------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Al detenerse la mezcla | 25,5 | 29,6 | 24,3 | 29,2 |
| 5 | 23,1 | 25,6 | 24,7 | 27,8 |
| 10 | 14,4 | 20 | 22 | 25,3 |
| 15 | 7,77 | 16,6 | 18,5 | 22,9 |
| 20 | 4,83 | 12,5 | 13,4 | 17,5 |
| 25 | 4,52 | 9,99 | 12,3 | 13,3 |

| CON RECIRCULACIÓN | | | | |
|-------------------|------------|------|------|------|
| TIEMPO | SUPERFICIE | 1 | 2 | 3 |
| 30 | 3,21 | 10,5 | 10,9 | 9,83 |
| 35 | 3,05 | 10 | 10,1 | 9,9 |
| 45 | 3,03 | 8,18 | 9,35 | 9,5 |
| 60 | 2,07 | 7,08 | 8,12 | 9,08 |
| 70 | 2,62 | 6,4 | 7,52 | 8,32 |
| 80 | 2,85 | 6,46 | 7,1 | 8,94 |

Gráfica tiempo vs. Turbiedad:

Grafica 4: Tiempo Vs Turbiedad, prueba 4.



Fuente: Los autores

Se puede evidenciar de la gráfica que las turbiedades iniciales tienden a ser mayores que las finales, esto debido a que el tiempo de recirculación fue mayor que en los anteriores laboratorios, también se puede observar que el manto de lodos tiende a formarse entre los 30 y 45 minutos donde las turbiedades del reactor no cambian en una forma considerable y van disminuyendo de igual manera en todo el reactor, lo que permite evidenciar que la clarificación del agua se está dando satisfactoriamente al igual que el proceso de floculación y sedimentación, la turbiedad final en la superficie arrojó un valor de 2,8 NTU

acercándose al parámetro de purificación de agua potable que debe estar en 2 NTU.²⁸

10.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Partiendo del análisis del manto de lodos que produjo el coagulante (Sulfato de aluminio) frente al agua problema, según las gráficas anteriores se puede observar a nivel general que el manto de lodos provocado en el tanque principal se formó en un tiempo estimado entre los 25 a 30 minutos en el primer laboratorio y entre los 25 a 70 minutos en los últimos tres laboratorios realizados, esto debido a que en el primer laboratorio no hubo una recirculación con un tiempo óptimo lo que provocó que la mayor turbiedad del agua se concentrara en la llave número 3 del tanque principal, es decir en el fondo del tanque, dejando en claro que el manto de lodos tarda más tiempo en formarse.

Posteriormente se puede deducir que a mayor tiempo de recirculación, el manto de lodos que se espera formar en el tanque principal se ubicará en la llave número 2 o sector medio del reactor, donde habrá una mayor concentración y el floc viejo se combinará con el floc nuevo formando un manto de lodos que se irá sedimentando a medida que las partículas van aumentando en tamaño y peso, esto teniendo en cuenta que es el principio fundamental del clarificador de manto de lodos.

Se puede observar del trabajo realizado que la recirculación de floc aporta beneficios para la formación del manto de lodos, al inicio de la recirculación las turbiedades obtenidas serán mayores en la parte media del reactor justo donde se ubica la llave número 2 y con el transcurrir del tiempo este mismo principio se irá

²⁸ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2000
Reglamento Técnico del sector del sector de agua potable y saneamiento básico.

cumpliendo en la parte baja del reactor principal, lo que permite evidenciar que es efectivo trabajar la recirculación para que el floc obtenga un mayor tamaño y con el paso del tiempo se vaya sedimentando en la parte inferior del cono donde se recogerá la mayor cantidad de lodo del proceso de floculación.

Adicionalmente, se puede decir que el coagulante utilizado en las pruebas permitió que el agua problema clarificara de forma adecuada, pero no se puede depender de un solo coagulante en estas pruebas, teniendo en cuenta que para cada agua problema puede haber un coagulante que reaccione de mejor manera y que permita obtener mejores resultados en el proceso de clarificación de agua.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El clarificador cumplió con la generación del manto de lodos, ya que los resultados de mayor turbiedad en la llave No 2 durante la recirculación así lo demuestran, adicional a ello se presenta una menor turbiedad en la llave No 1 durante el tiempo que ocurre la recirculación del agua, esto evidencia que el floc se forma en la parte media del reactor y poco después que obtiene el peso suficiente se va sedimentando para formar lodo en el fondo de la estructura.
- Debido a que el tanque superior es de 25 L la recirculación no se mantiene durante un tiempo más prolongado, para la continuación de la presente investigación se puede mejorar el sistema implementando optimización del prototipo, diseñando un sistema que tenga un tanque elevado de mayor capacidad o por lo menos la misma del tanque principal, o también adicionando una bomba dosificadora, que permita mantener en constante circulación el agua.
- Un sistema optimizado con salida de agua ya sea por un canal alrededor o tubería perforada se puede conectar a un sistema de filtración para la continuación del proceso de potabilización del agua.
- El agua clarificada que se obtiene en la parte de la superficie del tanque debe contar con un sistema de salida de agua por medio de un canal circular alrededor del tanque o de tubería perforada, que permita extraer esta agua clarificada para su respectivo proceso de purificación.

- Para obtener otros parámetros de calidad del agua clarificada, se recomienda la medición de oxígeno disuelto, conductividad, resistividad, sólidos suspendidos y pH.
- El agua clarificada en la superficie se acercó a 2 unidades de turbiedad (NTU), el cual es el parámetro usado por la norma RAS 2000 en el proceso de purificación de agua potable, lo que permite evidenciar que la estructura del clarificador construido en laboratorio cumple con las parametrizaciones para el proceso de potabilización de agua aun cuando falta el proceso de filtración.
- Se puede contemplar un sistema de floculación por manto de lodos como alternativa en el tratamiento de agua potable en plantas de tratamiento, esto debido a que permite mejorar la turbiedad del agua y al mismo tiempo clarificarla.
- Se recomienda implementar en proyectos futuros un mecanismo para medir los caudales de entrada y de salida del reactor.
- Se recomienda para la mezcla rápida y lenta, utilizar aire independiente para cada sistema, esto debido a que si se utiliza el mismo para ambos tanques, se puede generar cambios en la presión del sistema afectando la mezcla rápida y lenta.
- Se recomienda implementar en otros proyectos relacionados, la utilización de diferentes coagulantes y en distintas concentraciones, esto debido a que pueden haber otros que mejoren los resultados obtenidos frente al proceso de clarificación de agua.

12. GLOSARIO

GRADIENTE DE VELOCIDAD: La velocidad, c , aumenta con la distancia, Y , si bien, a medida que nos alejamos, su variación es más pequeña. Es decir, existe un gradiente de velocidad, que es el inverso de la pendiente en cualquier punto de esa representación: Gradiente de velocidad: $\frac{dc}{dy} = \lim_{Y \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta c}{\Delta y} \right)$.²⁹

FLOCULADOR HORIZONTAL: estructura hidráulica en la que el agua se desplaza en sentido horizontal entre dos tabiques consecutivos haciendo el giro al final de cada uno. Para utilizar un floculador de flujo horizontal, el tanque debe estar dividido por pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuesto de forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de las mismas.³⁰

NTU: La NTU es a abreviación de Nephelometric Turbidity Unit (Unidades Nefelométricas de turbiedad), y es la unidad en la que se mide la turbidez de un fluido o la presencia de partículas en suspensión en el agua, cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá esta y más alta será la turbidez. La relación entre NTU y sólidos en suspensión es la siguiente, 1 mg/l (ppm) equivale a 3 NTU, por ejemplo, SS de 300 mg/l (ppm) son 900 NTU. Según la Organización Mundial de la Salud, la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU.³¹

TEST DE JARRAS: El Test de Jarras es un procedimiento que se utiliza en los laboratorios para determinar las condiciones de operación óptimas generalmente para el tratamiento de aguas, la prueba de jarras permite ajustar el PH, hacer variaciones en la dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a la

²⁹ Universidad de Sevilla, 2017

³⁰ PULIDO & CARRILLO, 2016

³¹ TECNOCONVERTING ENGINEERING, 2017

muestra, alternar velocidades de mezclado. La coagulación química y la dosificación apropiada de reactivos debe ser seleccionada por la simulación del paso de aclaración de un laboratorio a escala un arreglo simple de vasos precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas iguales.³²

TURBIDIMETRO: Un turbidímetro o Nefelómetro es un instrumento para medir partículas suspendidas en un líquido. Esto lo hace empleando una fotocelda colocada en un ángulo de 90° con respecto a una fuente luminosa. La densidad de partículas es entonces una función de la luz reflejada por las partículas a la fotocelda.³³

FLOC: conglomerado de partículas sólidas que se genera a través de los procesos de coagulación y floculación. El floc está constituido en primer lugar por los sólidos que se separan del agua, así como también por los sólidos que aporta el coagulante.³⁴

OXIGENO DISUELTO: Es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. La medición del oxígeno disuelto se establece como la concentración actual (mg/L) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada. Se conoce también como el porcentaje de saturación. La insuficiencia de oxígeno disuelto en el agua puede causar muerte de organismos como los peces.³⁵

pH: es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H⁺) en una sustancia. La acidez es una de las propiedades más importantes del agua. El agua disuelve casi todos los iones. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en

³² SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE, 2017

³³ EQUIPOS Y LABORATORIOS DE COLOMBIA, 2017

³⁴ SERQUIMSA, 2017

³⁵ CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2017

agua. El pH puede variar entre 0 y 14, sustancias mayores de 7 son básicas y menores de 7 acidas.³⁶

³⁶ LENNTECH, 2017

BIBLIOGRAFIA

CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2017. <http://www.waterboards.ca.gov>. [En línea] 14 de 05 de 2017.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE, CEPIS. 1973. Teoría del Diseño y Control de los procesos de clarificación del Agua. s.l. : CEPIS, 1973.

CRUZ, Camilo Hernan. 2016. Curso Sistemas de Potabilización con Clarificadores de Contacto. <https://campusvirtual.univalle.edu.co/>. [En línea] 20 de 09 de 2016.

DEREK G, Miller. 1990. <http://www.bvsde.paho.org/>. Reactores de Contacto de sólidos. [En línea] 1990. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/02554-reactores.pdf>.

CASTRO, Camilo, WILLS, Amparo, y CORREA, Mauricio . 2010. 2010, Evaluación de un Clarificador de Manto de Lodos a escala de laboratorio. Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia. No 14, págs. 53-65.

FANDIÑO PIAMONTE, Sebastian y CAMARGO ARCILA, Esteban. 2013. Evaluación y Optimización de la Planta de tratamiento de agua potable del municipio de Purificación en el departamento del Tolima. Bogotá : UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA, 2013.

JEYANAYAGAM, Sam. 2016 Design of final Clarifiers-TechArticle06.. Miami : s.n., 2016, Florida Water Resources Journal.

LENNTECH. 2017. <http://www.lenntech.es>. pH y alcalinidad. [En línea] 14 de 05 de 2017. <http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>.

MENDOZA, Oscar Orlando y GALVIS, Mónica del Pilar. 2004. Optimización del Pretratamiento e implementación de dosificación de sulfato de Aluminio líquido para la PTAP de bosconia de la CAMB. Bucaramanga : UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, 2004.

MICHIGAN DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY OPERATOR TRAINING AND CERTIFICACION UNIT. 2017. Clarifier Calculation. 2017.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2000. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento de básico. Bogotá, Colombia : s.n., 2000.

- OBRAS SANITARIAS DEL ESTADO DE URUGUAY. 2012.** Calculos básicos planta de tratamiento de agua residual. Canelones : Gobierno de Uruguay, 2012.
- PEREZ, Andrea, y otros. 2014.** Efecto de la formación de manto de lodos sobre el comportamiento hidrodinámico de un reactor a escala real, Caso Estudio: Sotaquira, Colombia. Tunja : Revista Ingenieria, Universidad de Boyacá, 2014. I3+,3, 10-29 p..
- PEREZ, Jorge Arturo. 1970.** Tratamiento de Aguas. Medellin : UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - FACULTAD DE MINAS, 1970.
- ROMERO ROJAS, Jairo Arlberto. 1999.** Potabilización del Agua, 3ra Edición. Mexico D.F : Alfa y Omega, 1999.
- SCHULUMBERGER. 2017.** <http://www.slb.com/>. Glosary. [En línea] 14 de 05 de 2017. http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/s/shear_rate.aspx.
- SERQUIMSA. 2017.** <http://www.serquimsa.com>. [En línea] 14 de 05 de 2017. <http://www.serquimsa.com/consideraciones-sobre-el-diseno-del-floc/>.
- SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA. 2000. 2000.** Evaluacion de Plantas y Desarrollo Tecnológico. Lima, Peru : SEDAPAL, 2000.
- SUAREZ, J y JACOME, A. 2007.** Tratamientos Avanzados de depuración del Agua. Coruña, España : Universidad de Coruña, 2007.
- TECNOCONVERTING ENGINEERING. 2017.** <http://www.tecnoconverting.com>. [En línea] 14 de 05 de 2017. <http://www.tecnoconverting.com/que-es-la-ntu/>.
- UNIVERSIDAD DE DELF.,. 2015.** Guia Diseño de Clarificadores. Holanda : TU DELF., 2015.
- VARGAS, Lidia. 2004.** TRATAMIENTO PARA CONSUMO HUMANO, MANUAL I. Lima : CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE, 2004.
- ZATARAIN DEL CASTILLO , Minerva. 1988.** Teoria de la Sedimentación. Sonora, Mexico : Tesis de Grado, Universidad de Sonora , 1988.

ANEXOS

MANUAL PARA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO PARA CLARIFICADOR DE MANTO DE LODOS