

UCUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera Ingeniería Civil

**“ANÁLISIS NUMÉRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS EN
DIFERENTES CONFIGURACIONES GEOMÉTRICAS DE FLOCULADORES TUBULARES
COMO UNA TECNOLOGÍA POTENCIAL SOSTENIBLE PARA LA PROVISIÓN DE AGUA
POTABLE EN COMUNIDADES EN DESARROLLO”**

Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Civil.

Autores:

Paúl Esteban González Jarrín
CI:0105500961
pa_gj96@outlook.com

Juan Carlos Gutiérrez Terreros
CI:0106843485
juan.guti@outlook.es

Director:

Ing. Esteban Remigio Sánchez Cordero
CI: 0103665634

Cuenca - Ecuador

17-mayo-2022

RESUMEN

El agua potable es un derecho al cual no toda la población tiene acceso, la desigualdad de repartición económica por parte de los gobiernos hacia zonas urbanas y rurales forman una brecha en el desarrollo social y económico siendo las cifras de desnutrición, analfabetismo y salud las que confirman este problema. El acceso a agua potable no es viable en zonas de pequeñas poblaciones, o comunidades de difícil acceso debido a las grandes inversiones de dinero y espacio que se necesitan en la construcción de una planta de tratamiento de agua potable, por lo que se crea la necesidad de solucionar estos problemas con alternativas que reduzcan costos y espacios.

Una de las maneras de reducir el costo y espacio que demanda la construcción de una planta de tratamiento de agua se encuentra en el área de floculación donde se puede usar tubos PVC como espacio floculador en reemplazo de las comunes estructuras de asbesto y cemento, el análisis del funcionamiento de esta alternativa se lo realizó dentro de la planta de tratamiento de agua potable de “Bayas” donde se armaron floculadores de orientación horizontal y vertical los cuales fueron utilizados para el análisis sobre los floculantes, tiempos de retención longitud y diámetros de las tuberías de los floculadores, espacio de sedimentación y cloración que deben ser diferentes a los que se utilizan en la planta de Bayas actualmente. Dichos floculadores fueron diseñados para cubrir la demanda de 1 l/s en una tubería de diámetro 110 mm donde en floculadores verticales y horizontales se cumplió la floculación sin inconvenientes, de este ensayo nacieron diferentes dudas sobre la respuesta de estos floculadores ante la demanda de diferentes caudales, por lo cual se realizaron ensayos de diferentes caudales en distintas longitudes y distintos diámetros de tuberías, emplazando tuberías de 75 y 110 mm en floculadores horizontales y de 63 y 110 mm en floculadores verticales.

Se realizó una evaluación numérica mediante el software WaterCad gracias al cual se conocieron los diferentes patrones hidráulicos dentro de las tuberías y como participan en el proceso de floculación determinando distintas maneras de corregir los aspectos que no se cumplan con los parámetros recomendados en cuanto a tiempo de retención, velocidad de circulación y gradiente de velocidad que aseguran una correcta floculación. Los datos de entrada fueron los diámetros de las tuberías y las longitudes del esqueleto tubular armado in situ, con esta información se realizó una modelación virtual en WaterCad donde se demostró que para floculadores horizontales el caudal de 0.25 y 2 l/s no tiene la capacidad de ser floculada por lo que a parte de la tubería de 75 y 110 mm se necesita colocar una tercera tubería de 63mm con longitud de 70 metros para tratar el caudal de 0.25 l/s además de alargar la tubería de 110mm unos 53.3 metros adicionales al existente para cubrir el caudal de 2 l/s, y en verticales en cambio el caudal de 0.5 y 2 l/s no cumplen con los parámetros recomendado e inclusive en floculadores verticales existen presiones negativas en los caudales de 1 y 2 l/s lo cual genera que el agua no complete el circuito, el floculador vertical no amerita cambios de diámetros pero de igual manera el de 63 mm debe alargarse 21.4 metros para cubrir el caudal de 0.5 l/s y el de 110mm de diámetro se alarga 69.2 mm para tratar el caudal de 2 l/s y para evitar presiones negativas la tubería de 63 mm no interviene en la floculación de los caudales de 1 y 2 l/s. Estas correcciones son sugeridas en base al análisis de WaterCad donde se comprobó la funcionalidad de los modelos actuales y sugeridos, de igual manera el análisis de eficiencias demostró que el floculador horizontal es más eficiente que el floculador vertical.

Palabras clave: Floculador. Eficiencia hidráulica. Patrón hidráulico.

ABSTRACT

Drinking water is a right to which not the entire population has access, the inequality of economic distribution by governments towards urban and rural areas forms a gap in social and economic development, with the numbers of malnutrition, illiteracy and health being the ones that confirm this problem. Access to drinking water is not viable in areas with small towns, or communities that are difficult to access due to the large investments of money and space that are needed in the construction of a drinking water treatment plant, thus creating the need to solve these problems with alternatives that reduce costs and space.

One of the ways to reduce the cost and space required for the construction of a water treatment plant is in the flocculation area where PVC pipes can be used as a flocculator space instead of the common asbestos and cement structures, the analysis of the operation of this alternative was carried out within the "Bayas" drinking water treatment plant where horizontal and vertical orientation flocculators were assembled, which were used for the analysis of the flocculants, retention times, length and diameters of the pipes. of the flocculators, sedimentation and chlorination space that must be different from those currently used in the Berries plant. These flocculators were designed to meet the demand of 1 l/s in a 110 mm diameter pipe where flocculation was achieved without problems in vertical and horizontal flocculators. From this test different doubts arose about the response of these flocculators to the demand of different flows, for which tests of different flows were carried out in different lengths and different diameters of pipes, placing pipes of 75 and 110 mm in horizontal flocculators and 63 and 110 mm in vertical flocculators.

A numerical evaluation was carried out using the WaterCad software, thanks to which the different hydraulic patterns inside the pipes were known and how they participate in the flocculation process, determining different ways to correct the aspects that do not comply with the recommended parameters in terms of time of retention, circulation speed and speed gradient that ensure correct flocculation. The input data were the diameters of the pipes and the lengths of the tubular skeleton assembled on site, with this information a virtual modeling was carried out in WaterCad where it was shown that for horizontal flocculators the flow rate of 0.25 and 2 l/s does not have the capacity to be flocculated so apart from the 75 and 110 mm pipe it is necessary to place a third 63mm pipe with a length of 70 meters to treat the flow rate of 0.25 l/s in addition to lengthening the 110mm pipe an additional 53.3 meters to the existing to cover the flow of 2 l/s, and in vertical instead the flow of 0.5 and 2 l/s do not meet the recommended parameters and even in vertical flocculators there are negative pressures in the flows of 1 and 2 l/s what which generates that the water does not complete the circuit, the vertical flocculator does not require changes in diameter but in the same way the 63 mm one must be lengthened 21.4 meters to cover the flow rate of 0.5 l/s and the 110mm diameter one is lengthened 69.2 mm to treat the flow of 2 l/s and to avoid negative pressures, the 63 mm pipe does not intervene in the flocculation of the flows of 1 and 2 l/s. These corrections are suggested based on the WaterCad analysis where the functionality of the current and suggested models was verified, in the same way the efficiency analysis showed that the initially built models are better than the recommended ones and that the horizontal flocculator is more efficient than the vertical flocculator.

Keywords: Flocculator. Hydraulic efficiency. Hydraulic pattern.

Tabla de contenidos.

RESUMEN.....	2
DEDICATORIA.....	10
DEDICATORIA.....	11
CAPITULO I.....	12
1. INTRODUCCION.....	12
1.1. ANTECEDENTES	12
1.2. PROBLEMÁTICA.....	13
1.3. OBJETIVOS.....	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. JUSTIFICACION	14
CAPITULO II.....	15
2. MARCO TEORICO	15
2.1. SOFTWARE WATERCAD	15
2.2. FLOCULADOR	16
2.3. TIPOS DE FLOCULADOR.....	16
2.3.1. Floculadores hidráulicos.....	17
2.3.1.1. Floculador de flujo horizontal.....	17
2.3.1.2. Floculador de flujo vertical	18
2.4. PARAMETROS DEL FLOCULADOR.....	18
2.4.1. Velocidad del flujo dentro del floculador.....	18
2.4.2. Tiempo de retención dentro del sistema de floculación.	19
2.4.3. Gradiente de velocidad.	19
2.5. FLOCULADORES TUBULARES EXISTENTES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE “BAYAS”	19
2.6. CRITERIOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FLOCULADOR TUBULAR.	20
2.6.1. Perdidas de energía en un trayecto tubular.....	21
2.6.1.1. Perdidas por fricción.....	22
2.6.1.1.1. Darcy-Weisbach	22
2.6.1.1.2. Hazen-Williams	23
2.6.1.2. Perdidas locales.	24
2.6.2. Presión en tuberías.....	25
2.7. EFICIENCIA HIDRAULICA.....	25
CAPITULO III.....	26
3. METODOLOGIA	26
3.1. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	26

3.2.	MODELACIÓN VIRTUAL DEL SISTEMA PILOTO	27
3.2.1.	Levantamiento topográfico y modelación virtual.....	27
3.2.1.1.	Conducción y entrada a los floculadores.....	28
3.2.1.2.	Floculador tubular de geometría horizontal.....	30
3.2.1.3.	Floculador tubular de geometría vertical.....	30
3.3.	ANÁLISIS DE PARAMETROS HIDRÁULICOS EN EL FLOCULADOR HORIZONTAL Y VERTICAL	31
3.3.1.	Presión.....	31
3.3.2.	Velocidad.....	31
3.3.3.	Tiempo de retención.....	32
3.3.4.	Gradiente de velocidad	32
3.4.	DISEÑO DE UN MODELO DE FLOCULADOR HORIZONTAL Y VERTICAL CON UNA MEJOR EFICIENCIA HIDRAULICA.....	33
CAPITULO IV		35
4.	RESULTADOS.....	35
4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS PARA FLOCULADORES TUBULARES.	35
4.1.1.	Análisis de tiempos de retención, velocidad y gradiente de velocidad floculador horizontal.....	37
4.1.2.	Análisis de tiempos de retención, velocidad y gradiente de velocidad de floculador vertical.	38
4.1.3.	Análisis de presiones floculador vertical.	39
CAPITULO V.....		44
5.	CORRECCION CONSTRUCTIVA CON EL OBJETIVO DE SOLUCIONAR LOS PROBLEMS DE FLUJO.....	44
5.1.	MODELO CORREGIDO DEL FLOCULADOR TUBULAR HORIZONTAL Y SUGERENCIA DE FUNCIONAMIENTO SEGÚN LA DEMANDA DE CAUDAL A TRATAR.....	44
5.2.	MODELO CORREGIDO PARA FLOCULADOR TUBULAR VERTICAL Y SUGERENCIA DE FUNCIONAMIENTO SEGÚN LA DEMANDA DE CAUDAL A TRATAR.....	45
6.	ANALISIS DE EFICIENCIA HIDRAULICA DE LOS FLOCULADORES.....	48
6.1.	EFICIENCIA HIDRÁULICA FLOCULADOR HORIZONTAL.....	48
6.1.1.	Análisis de la eficiencia hidráulica del funcionamiento de floculadores tubulares que se encuentran actualmente armados en campo.....	48
6.1.2.	Análisis de la eficiencia hidráulica de floculadores tubulares horizontal que se sugieren armar.	49
6.2.	EFICIENCIA HIDRÁULICA FLOCULADOR VERTICAL.	49
6.2.1.	Análisis de la eficiencia hidráulica del funcionamiento de floculadores tubulares que se encuentran actualmente armados en campo.....	49

6.2.2. Análisis de la eficiencia hidráulica de floculadores tubulares verticales que se sugieren armar.	50
6.3. COMPARACIÓN DE EFICIENCIA HIDRÁULICA ENTRE FLOCULADOR HORIZONTAL Y VERTICAL.	52
6.3.1. Análisis de la eficiencia hidráulica entre floculadores tubulares horizontales y verticales actualmente armados en campo.	52
6.3.2. Análisis de la eficiencia hidráulica entre floculadores tubulares horizontales y verticales que se sugieren armar.	52
CAPITULO VII.	53
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	53
7.1. CONCLUSIONES.	53
7.2. RECOMENDACIONES.	54
CAPITULO VIII.	55
8. BIBLIOGRAFIA.	55
CAPITULO IX.	58
9. ANEXOS.	58
Anexo 1. Resultados WaterCad para caudal de 0.25 l/s en floculador horizontal.	58
Anexo 2. Resultados WaterCad para caudal de 0.25 l/s en floculador vertical.	69
Anexo 3. Vínculos de las tablas de anexos de cada caudal ensayado en WaterCad.	87
Anexo 4. Cálculo de sugerencias para el modelo optimo.	87
Anexo 5. Cálculo de la eficiencia hidráulica.	89

INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Partes de un modelo hidráulico - Manual WaterCad</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 2 Floculador de flujo horizontal vista en planta</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 3 Floculador de flujo vertical vista de elevación.</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 4 Válvulas de aire colocadas en la parte superior de los floculadores verticales debido a problemas con la circulación del agua por presiones negativas</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 5 Grafico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63 mm, caudal de 1 l/s de longitud 91.4m.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 6 Grafico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63+110 mm caudal de 1 l/s de longitud 154.9 m</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 7 Grafico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63+110 mm caudal de 1 l/s de longitud.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 8 Grafico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63 mm caudal de 2 l/s de longitud.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 9 Grafico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63+110 mm caudal de 2 l/s de longitud.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 10 Grafico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63+110 mm caudal de 2 l/s de longitud.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 11 Modelación de construcción de la solución para floculador horizontal.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 12 Modelación de construcción de la solución para floculador vertical.</i>	<i>46</i>

INDICE DE TABLAS

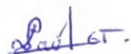
<i>Tabla 1 Tipos de floculadores según la energía de agitación (Arboleda, 2000).....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2 Coeficientes k de perdidas tomadas de software WaterCad</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 3 Configuración de diámetros y longitudes para ensayos en floculador tubular horizontal</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4 Configuración de diámetros y longitudes para ensayos en floculador tubular vertical</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 5 Parámetros del agua en la entrada al floculador</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 6 Parámetros para la evaluación del funcionamiento del floculador horizontal según Arboleda Jorge.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 7 Gama de colores para el análisis de resultados de WaterCad</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 8 Detalle de los caudales que presentan problemas en la floculación de tubería horizontal y su respectiva recomendación</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 9 Detalle de los caudales que presentan problemas en la floculación de tubería vertical y su respectiva recomendación</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 10 Resultados de floculador tubular horizontal ante diferentes caudales de demanda</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 11 Resultados de floculador tubular vertical ante diferentes caudales de demanda</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 12 Detalle de problemas de circulación en el floculador vertical</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 13 Detalle de variaciones sugeridas para el floculador horizontal</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 14 Configuración de diámetros y longitudes recomendados para tratar diferentes caudales de demanda en los floculadores horizontales</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 15 Manual de longitudes y diámetros a utilizar para diferentes caudales dentro del floculador horizontal.</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 16 Detalle de variaciones el floculador vertical</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 17 Cambio de cota en el floculador vertical para evitar problemas de presiones debido al alargamiento de las longitudes de tuberías.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 18 Configuración de diámetros y longitudes recomendados para tratar diferentes caudales de demanda en los floculadores verticales.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 19 Manual de longitudes y diámetros a utilizar para diferentes caudales dentro del floculador vertical.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 20 Detalle de la eficiencia hidráulica de los ensayos realizados en el floculador horizontal.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 21 Resumen de las mejores eficiencias hidráulicas de los floculadores horizontales actualmente contruidos.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 22 Detalle de la eficiencia hidráulica del modelo recomendado para el floculador horizontal</i>	<i>49</i>

<i>Tabla 23 Resumen de las mejores eficiencias hidráulicas de los floculadores horizontales sugeridos</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 24 Detalle de la eficiencia hidráulica de los ensayos realizados en el floculador vertical.</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 25 Resumen de las mejores eficiencias hidráulicas de los floculadores verticales actualmente construidos</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 26 Detalle de la eficiencia hidráulica del modelo recomendado para el floculador vertical</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 27 Resumen de las mejores eficiencias hidráulicas de los floculadores verticales sugeridos</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 28 Eficiencia hidráulica de floculadores debido al aumento de desnivel entre captación y entrada a floculador.</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 29 Detalle de la eficiencia hidráulica de la comparación entre modelos actuales.</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 30 Detalle de la eficiencia hidráulica de la comparación entre modelos sugeridos.</i>	<i>52</i>

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Paúl Esteban González Jarrín, autor/a del trabajo de titulación "ANÁLISIS NUMÉRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS EN DIFERENTES CONFIGURACIONES GEOMÉTRICAS DE FLOCULADORES TUBULARES COMO UNA TECNOLOGÍA POTENCIAL SOSTENIBLE PARA LA PROVISIÓN DE AGUA POTABLE EN COMUNIDADES EN DESARROLLO", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 17-05-2022



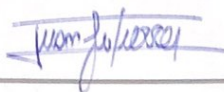
Paúl Esteban González Jarrín

C.I: 0105500961

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Juan Carlos Gutiérrez Terreros, autor/a del trabajo de titulación "ANÁLISIS NUMÉRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS EN DIFERENTES CONFIGURACIONES GEOMÉTRICAS DE FLOCULADORES TUBULARES COMO UNA TECNOLOGÍA POTENCIAL SOSTENIBLE PARA LA PROVISIÓN DE AGUA POTABLE EN COMUNIDADES EN DESARROLLO", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 17-05-2022



Juan Carlos Gutiérrez Terreros

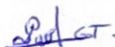
C.I: 0106843485

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Paúl Esteban González Jarrín en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "ANÁLISIS NUMÉRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS EN DIFERENTES CONFIGURACIONES GEOMÉTRICAS DE FLOCULADORES TUBULARES COMO UNA TECNOLOGÍA POTENCIAL SOSTENIBLE PARA LA PROVISIÓN DE AGUA POTABLE EN COMUNIDADES EN DESARROLLO", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17-05-2022



Paúl Esteban González Jarrín

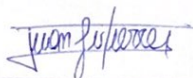
C.I: 0105500961

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Juan Carlos Gutiérrez Terreros en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "ANÁLISIS NUMÉRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS EN DIFERENTES CONFIGURACIONES GEOMÉTRICAS DE FLOCULADORES TUBULARES COMO UNA TECNOLOGÍA POTENCIAL SOSTENIBLE PARA LA PROVISIÓN DE AGUA POTABLE EN COMUNIDADES EN DESARROLLO", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17-05-2022



Juan Carlos Gutiérrez Terreros

C.I: 0106843485

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primero a Dios por brindarnos sabiduría y fuerza, segundo a nuestros padres que con su paciencia y constante apoyo fueron nuestro sustento para finalizar nuestra carrera universitaria.

También agradecemos a la Universidad de Cuenca y sus docentes, quienes nos inculcaron valores y compartieron sus conocimientos para aportar en nuestro proceso de instrucción profesional.

Con mucho aprecio agradecemos al PhD. Esteban Sánchez, un docente cuyos conocimientos en el área hidráulica sumado a su ética y profesionalismo nos ayudaron en la conformación del presente proyecto de titulación, una mención especial al PhD. Fernando García quien nos aportó su experiencia y consejos para la correcta realización de nuestro proyecto de investigación. Asimismo, mencionamos a la junta parroquial “Bayas” y el personal que lo administra y mantiene, quienes con la mejor actitud nos permitieron trabajar libremente en lo que necesitemos para la ejecución de nuestra tesis.

A los compañeros de curso y amigos de la Universidad, quienes nos ayudaron en momentos duros y nos acompañaron a lo largo de todo este camino de formación ¡A todos ellos gracias!

*Juan Gutiérrez
Paúl Esteban González*

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico especialmente a mi madre Rosaura, a mi padre Ángel, y a mi hermano, Jorge, quienes me motivaron para iniciar este camino de formación profesional y día a día con paciencia y amor estuvieron apoyándome a través de los años sin dejarme rendir ante las dificultades que este proceso representa, sin ellos esto no hubiera sido posible.

A mis primas Deisy, Mery y Vilma, a mi tío Fausto y mi tía María, personas que fueron de bendición en mi vida por su constante apoyo y preocupación en que pueda cumplir mi meta de culminar mis estudios.

También a mis amigos Giancarlo, Rodrigo, Esteban, Carla, Soledad, quienes nos supimos acoplar para estudiar y divertirnos, gracias a ellos pude comprobar que las verdaderas amistades te aportan para ser mejor. Y a mis amigos con quienes inicié la Universidad, Christian, David, Paul, Edison, y Freddy gratas personas que nos supimos apoyar y avanzar en los inicios de un camino desconocido para nosotros como lo fue la Universidad en los primeros ciclos.

Finalmente, a mi querido amigo Rommel, por el tiempo que supo dedicar a que pueda entender una fórmula y por las anécdotas vividas en las aulas y en los pasillos, porque a pesar de la hora o de la materia, siempre estuvo dispuesto a ayudar.

Juan Gutiérrez

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación y todo el sacrificio que conlleva la carrera de Ingeniería Civil se lo dedico a los seres más importantes de mi vida, sin ellos no se habría podido cumplir mi formación académica y mucho menos superado todos los obstáculos que en ella se presentaron, gracias a mis padres por cada palabra de aliento y consejo que me dieron para nunca rendirme y poder culminar con éxito esta etapa de mi vida. Gracias a mi padre Tito por ser un gran ejemplo de valentía y superación en mi vida, gracias a mi madre Blanca por cada bendición y fuerza antes de salir de casa cada mañana. Todo mi sacrificio va para ustedes y para mis hermanos Adriana y Daniel que los adoro con cada milímetro de mi corazón. Madre mía nunca olvides que te amo con todo mi ser, Dios y la Virgen Dolorosa te protegerá en lo que viene.

También quiero agradecer a mis grandes amigos Giancarlo, Rodrigo, Rommel, Juan, Soledad y Edwin. Amigos con quienes indudablemente formamos un gran equipo en todo momento para cualquier trabajo y noche de estudio culminando con éxito nuestra formación. Gracias por cada risa y apoyo en el proceso, queridos amigos lo hemos conseguido.

La universidad puede ser una de las etapas más bonitas en toda tu vida, una etapa en donde uno conoce sus verdaderas fortalezas y debilidades, un espacio en donde a pesar de todas las dificultades conoce personas que le enseñan a uno más de lo que uno aprende dentro de las aulas. Gracias a Alberto Merchán, Kelly Poveda, Freddy Ruilova y Adrián Cordero por cada consejo de vida que innumerables veces me ayudaron a seguir adelante, gracias porque lo que aprendí de cada uno siempre lo llevare en el alma.

Por ultimo quiero mencionar una gran frase que aprendí en esta bella etapa, “No es tanto que consigas el sueño, si no la persona que te tienes que convertir para alcanzarlo”.

Paúl Esteban González

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

El agua potable segura, el saneamiento y la higiene son esenciales para mejorar los estándares de vida, incluida la protección de la salud y el medio ambiente, mejores resultados educativos, mayor comodidad, dignidad y vidas con igualdad de género. Las poblaciones pobres y vulnerables tienen menos acceso a mejores servicios de agua, saneamiento e higiene y se comportan peor (Hutton & Chase , 2016).

El agua es de fundamental importancia para el desarrollo sustentable y sostenible de la humanidad. El desarrollo de las ciudades están correlacionadas con el acceso a los servicios básicos de agua potable y saneamiento que otorgan al ser humano las condiciones mínimas necesarias para una vida digna, pero debido al costo que representa la implementación de los servicios, existen zonas en su mayoría rurales que no cuentan con ellos y sus condiciones de vida son precarias, produciendo enfermedades, o que niños no puedan educarse ya que deben ocupar su tiempo en transportar agua desde la fuente hasta el hogar, además de la ingesta de comidas mal lavadas e inclusive insalubridad en el hogar por la falta de aseo de los pisos, platos, ollas etc. Condiciones que se generan debido a la falta de agua potable en condiciones de consumo.

En los últimos años, el uso humano del agua para fines domésticos, agrícolas e industriales ha aumentado significativamente, en gran parte debido al continuo crecimiento de la población. El impacto en la calidad del agua también aumenta significativamente (Cassardo & Jones, 2011).

El modelo de gestión comunitaria de los sistemas de abastecimiento de agua ha llegado a un gran número de asentamientos rurales en todo el mundo, especialmente en los países en desarrollo. Sin embargo, su funcionalidad ha demostrado ser un gran desafío una vez que las partes interesadas responsables del mantenimiento del servicio no proporcionan los recursos técnicos, financieros y sociales necesarios para garantizar su sostenibilidad (Machado, Dos Santos, Alves , & Quindeler, 2019).

Se estima que 1.800 millones de personas, o el 28% de la población mundial, utilizan una fuente de agua potable insegura. La mayor disparidad en el acceso a fuentes de agua potable segura se encuentra entre las zonas urbanas y rurales, donde se estima que el 45% de la población rural utiliza una fuente de agua potable insegura (Miller, Cronk, Behnke, & Bartram, 2019).

El suministro continuo de agua potable aún no está garantizado en muchos acueductos urbanos y rurales de Colombia y de muchos otros países del mundo, lo que hace aún más insostenibles los pequeños acueductos y con suficientes recursos económicos y técnicos se vuelve más grave. La capacidad de gestión es limitada. Por lo tanto, es necesario buscar soluciones simples, efectivas y de bajo costo para la construcción y operación de plantas de tratamiento de agua doméstica para sistemas de abastecimiento de agua de bajo caudal (Agudelo, Mejía, Pinzón, & Agudelo, 2015).

1.2. PROBLEMÁTICA

El crecimiento urbano que genera alteraciones en el suelo y en el cauce del agua, junto con el actual cambio climático que afecta las precipitaciones y el significativo crecimiento de la población, crean la necesidad de realizar un análisis sobre cómo obtener un tipo de agua y una cantidad de suministro necesario para una vida digna (Cassardo & Jones, 2011).

Para garantizar la funcionalidad de los sistemas de agua administrados por la comunidad, es fundamental aplicar las mejores prácticas durante las fases de concepción, diseño, construcción, operación y mantenimiento. Además, estas actividades deben recibir apoyo técnico, financiero, institucional, político y de gestión para asegurar su eficacia a largo plazo. En general, estos recursos están presentes en las zonas urbanas. En asentamientos rurales y aislados, sin embargo, son raros, ya que las inversiones en infraestructura, mano de obra especializada y el apoyo externo de organizaciones públicas y privadas a menudo no satisfacen las necesidades de la comunidad (Machado, Dos Santos, Alves , & Quindeler, 2019).

La forma en que se trata, almacena y distribuye el agua ha aumentado el número de personas con acceso a agua potable segura en todo el mundo. Sin embargo, las zonas rurales siguen estando sin ser cubiertas por estos servicios. Estas comunidades suelen estar lejos de las zonas urbanas, donde suele haber inversiones en infraestructura de abastecimiento de agua y saneamiento (Machado, Dos Santos, Alves , & Quindeler, 2019).

Debido al alto coste, y el gran espacio que se requiere para la implementación de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) la construcción de la misma no es viable en zonas rurales, por lo cual es necesario buscar maneras de optimizar estos dos principales factores, una de las formas de reducir coste y espacios es utilizar tuberías plásticas de PVC en reemplazo de los floculadores convencionales de concreto, estos floculadores tubulares realizan el mismo trabajo que un floculador convencional sin embargo necesita un nuevo tipo de tratamiento, es decir cambio en el coagulante que se adiciona, estudios de longitud y diámetro que puedan flocular el caudal que demanda la planta para cubrir la demanda de los habitantes de la zona, a continuación de los floculadores se continua con una zona de sedimentación, filtración y cloración convencionales.

El agua potable, el saneamiento y la higiene inadecuados son factores de riesgo importantes, particularmente en entornos de bajos ingresos. En 2011, se estima que 768 millones de personas dependían de suministros de agua "no mejorados" (según lo definido por el Programa Conjunto de Monitoreo de Agua y Saneamiento de la OMS y UNICEF – JMP), que se cree que tienen altos niveles de contaminación por patógenos (OMS y UNICEF 2013a). Muchos más utilizan fuentes que se clasifican como "mejoradas" pero que aún no son seguras para el consumo. Mas de 2.500 millones de personas carecen de acceso a un centro de saneamiento mejorado (OMS y UNICEF 2013a). (Prüss-Ustün, Bartram, & Clasen, 2014).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Analizar de manera numérica la eficiencia hidráulica en diferentes configuraciones geométricas de floculadores tubulares.

1.3.2. Objetivos específicos

- Comprender los patrones hidráulicos de las diferentes configuraciones geométricas de los floculadores.
- Analizar la eficiencia hidráulica, distribución de presiones y velocidades en los floculadores haciendo uso de un programa computacional.
- Establecer recomendaciones constructivas de los modelos para el correcto funcionamiento de los floculadores.

1.4. JUSTIFICACION

Los ciudadanos tienen que vivir cada vez más las penurias nacionales desde sus propios territorios y llevar la peor parte de todas las dinámicas de desarrollo tratadas desde su propio punto de vista. Por ello, la tarea más importante de cada ciudad como célula básica del Estado es velar por el desarrollo humano, buscar vías para satisfacer las necesidades inmediatas y la prosperidad de la población, cuidando el patrimonio cultural, social, ambiental y económico (Agudelo, Mejía, Pinzón, & Agudelo, 2015).

La falta de agua de calidad en las zonas rurales genera una serie de inconvenientes, como enfermedades, desaseo, deshidratación etc. El principal motivo por el cual las zonas rurales no cuentan con agua potable apta para consumo se debe a que no cuentan con una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) esto se debe al alto costo que representa la implementación de una planta y al espacio que se necesita, estos dos factores versus la demanda de agua de las comunidades hacen inviable la ejecución de este tipo de obras, es por ello que se deben buscar alternativas que reduzcan costos y espacios que permitan a las zonas rurales disponer de un agua de calidad que ayude a mejorar sus condiciones de vida.

Una opción para reducir los costos y espacio en una PTAP se encuentra en el área de floculación, donde comúnmente al construirse floculadores de concreto se invierte altas cantidades de dinero y espacio, la alternativa a este floculador convencional se hace a base de tuberías PVC los cuales tendrán una orientación similar al floculador convencional es decir puede ser vertical u horizontal y su finalidad es la misma, generar la acumulación de partículas formando grumos denominados flocs que posteriormente se sedimenten. Esta opción de floculadores de tuberías (FT) de PVC si bien pueden tener la misma orientación, cambian de material, cambia el espacio de circulación, tiempos de retención, velocidades etc. Factores que crean la necesidad de realizar diferentes estudios para poder corroborar su eficacia.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. SOFTWARE WATERCAD

WaterCad es un software con algoritmos computacionales basados en el método del gradiente hidráulico, permite el análisis hidráulico de redes de agua y cualquier otro tipo de fluido Newtoniano al determinar la capacidad de presión en diferentes puntos del sistema, así como el caudal proporcional, la velocidad, pérdida en las tuberías que componen la red hidráulica; así como otros muchos parámetros de funcionamiento derivados de los elementos presentes en el sistema tales como: Bombas, válvulas de control, depósitos, etc. dependiendo de las características físicas del sistema y condiciones de demanda preestablecidas.

Mediante el software de WaterCad se simula el sistema de floculación a base de tuberías; para generar el modelo de manera correcta es necesario ingresar los parámetros del sistema a diseñar como la longitud, tipo de tubería y cotas.

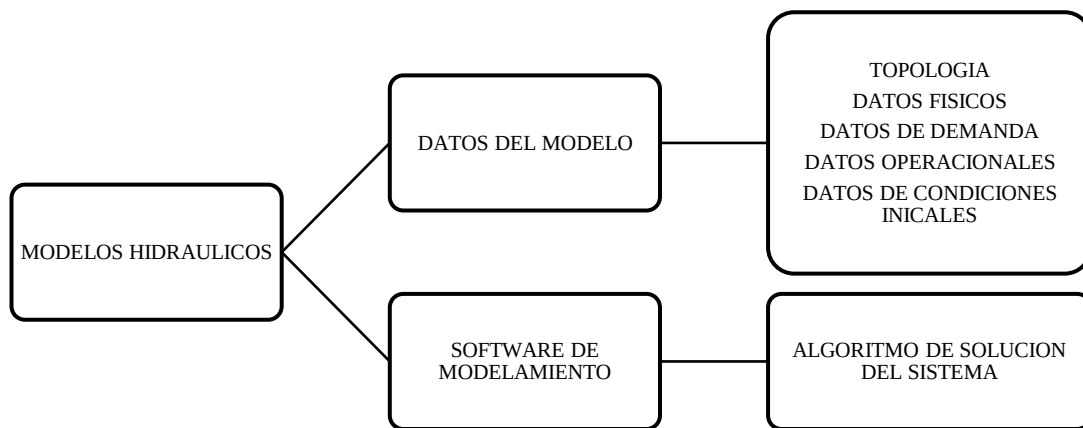


Ilustración 1 Partes de un modelo hidráulico - Manual WaterCad

Una vez ingresados los parámetros del modelo se detalla cada componente que forma parte del esqueleto virtual, tal como punto de captación, ubicación de válvulas, codos, etc. Cada accesorio WaterCad le asigna un valor numérico que tiene predefinido en una lista de valores para poder evaluar pérdidas de energía, cambios en el sentido de flujo, puntos de presión crítica, cortos circuitos y más información necesaria para asegurar que el agua dentro del floculador se encuentra en constante circulación.

En campo existe armado un sistema piloto de los floculadores tubulares horizontales y verticales en los cuales se midieron diferentes variables, es por ello que el modelo virtual necesita ser ajustado de tal manera que su funcionamiento sea similar al real, por lo cual es necesario realizar una calibración al diseño virtual de forma tal que la información obtenida como resultado final del análisis computacional sea comparable con el real y se determine como válido, de esta forma se podrá ejecutar en campo las recomendaciones que se obtengan mediante el software.

Mediante WaterCad se obtienen las velocidades, presiones y pérdidas de energía por fricción y locales, las velocidades que se obtienen son las teóricas en base al caudal circundante en determinado diámetro definido de los floculadores, las presiones dependerán de la orientación de las tuberías de la diferencia de cotas entre entrada y punto de análisis, las pérdidas locales lo obtiene mediante el coeficiente de los accesorios y la

velocidad que circula, y las pérdidas de fricción por tres métodos distintos, uno es el de Hazen-Williams el cual el manual de WaterCad recomienda usar para redes de distribución, el segundo el método de Darcy-Weisbach para flujo laminar y turbulento en general y el ultimo método es el de Chezy-Manning utilizado cuando se trabajan con tuberías de grandes diámetros (Sanchez Merlo, 2019).

2.2. FLOCULADOR

La floculación de polímeros convencional es un proceso lento que se realiza con una fuerza de mezcla baja. Este proceso se puede mejorar tanto en términos de tiempo de procesamiento, costo y eficiencia agregando agente floculante como aumentando la intensidad y agitación para obtener una mezcla de coagulante y agua, por lo que se debe colocar floculante en el área de este Salto Hidráulico. Se ha demostrado que mejora significativamente tanto los resultados del proceso como el tiempo y los costos de procesamiento, aumentando la fuerza de mezcla mediante el uso de coagulante en las primeras etapas del proceso. La fuerza de mezcla se mide usando el gradiente de velocidad, que es una medida del cambio espacial en la velocidad.

El kit de floculación ayuda en la formación del flóculo, el cual se produce agregando una agitación lenta al agua y a un ritmo reducido a medida que el agua circula por los canales de floculación, una vez que la floculación alcanza el tamaño ideal, el objetivo es que tenga el peso para que se deposite en el sedimento (Aguirre Martinez, 2015).

Juan Alpada en su tesis de Maestría menciona que existen 3 diferentes tipos de transportes para el desarrollo de los flocs (Alpada Campos, 2001):

- Floculación pericinética o Browniana debida a la energía térmica del fluido.
- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad, producida en la masa del fluido en movimiento.
- Sedimentación diferencial, debida a las partículas grandes; las cuales, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas que van descendiendo lentamente y las aglomeran

En los floculadores convencionales el método de transporte que se utiliza y el que se estudia en el presente ensayo es mediante la floculación ortocinética o gradiente de velocidad existente entre diferentes tramos del floculador.

2.3. TIPOS DE FLOCULADOR

Existen dos tipos de floculador, el floculador mecánico que realiza su funcionamiento por medio de equipos mecánicos; paletas, turbinas, es decir que su movimiento sea inducido por una fuente externa, y el floculador hidráulico que trabaja por disipación de energía hidráulica, diferencia de nivel o pérdida de cargas, donde la propia circulación del agua dentro del espacio floculador genera la floculación y transporte del floc (Carreño & Castiblanco, 2016).

Tabla 1 Tipos de floculadores según la energía de agitación (Arboleda, 2000)

SEGÚN LA ENERGIA DE AGITACION	SEGÚN EL SENTIDO DEL FLUJO	DESCRIPCION	NOMBRE
HIDRAULICOS	FLUJO HORIZONTAL	Con tabiques de ida y de regreso	Tabiques
	FLUJO VERTICAL	Con codos en el fondo que proyectan aguas arriba y abajo	Alabama
		Con entrada lateral al tanque	Cox

En la planta de tratamiento de agua potable de “Bayas” existen floculadores hidráulicos de flujo horizontal y vertical los mismos que se simularon como floculadores tubulares, por lo cual es necesario conocer la diferencia del funcionamiento de cada uno y cuando es más recomendado utilizar cada floculador.

2.3.1. Floculadores hidráulicos.

Los floculadores hidráulicos son estructuras usadas dentro del tren de potabilización, diseñadas por compartimientos para asegurar una disipación de energía. Permiten cambiar de manera controlada, el régimen de flujo de turbulento, proveniente de la mezcla rápida, a laminar para la descarga en el sedimentador.

Existen diferentes tipos de floculadores hidráulicos como de pantalla de flujo horizontal o de flujo vertical los cuales son los más comunes en las PTAP.

2.3.1.1. Floculador de flujo horizontal

Se recomiendan para caudales pequeños. Pueden construirse con paneles de asbesto-cemento o mamparas de madera. Los sistemas de coagulación pueden incorporar dispositivos tales como ranuras o abrazaderas de fijación, con el fin de ajustar el espacio entre las pantallas para que el agua pase alrededor de los extremos libres de los deflectores, en la regulación de la velocidad del gradiente (Mejia, 2017).

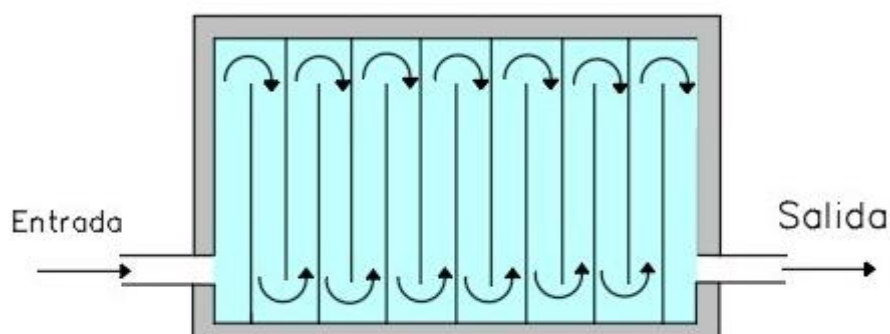


Ilustración 2 Floculador de flujo horizontal vista en planta

2.3.1.2. Floculador de flujo vertical

En este tipo de unidades el flujo sube y baja a través de canales verticales formados por las pantallas. Es una solución ideal para plantas de medianas a grandes, porque debido a la mayor profundidad que requieren estas unidades, ocupan áreas más reducidas que los canales de flujo horizontal (Vargas, 2004).

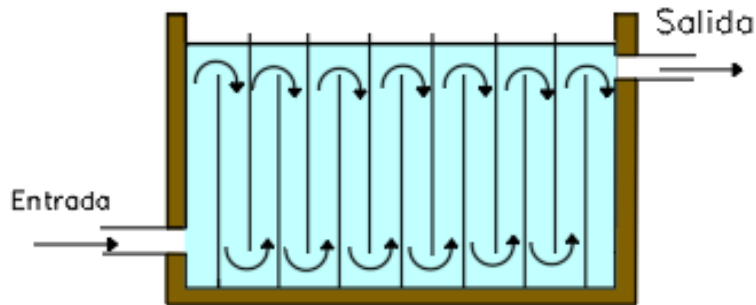


Ilustración 3 Floculador de flujo vertical vista de elevación.

2.4. PARAMETROS DEL FLOCULADOR

El proceso de floculación debe cumplir dos objetivos básicos: el primer objetivo es acumular flóculos para que las partículas tengan un peso específico mayor que la masa del agua, el segundo objetivo es compactar los flóculos para que la sedimentación y la filtración sean más eficientes (Melo & Herrera , 2016).

Un mayor contacto entre partículas facilita la formación de flóculos, pero si la fuerza de agitación excede un límite, el esfuerzo cortante resultante puede romper los flóculos ya formados

Para el correcto funcionamiento del floculador se debe analizar ciertos parámetros como el tiempo de retención y el gradiente de velocidad, ya que según (Villegas & Letterman , 1976) son los que trabajan en forma conjunta y producen mayor eficiencia del sistema.

2.4.1. Velocidad del flujo dentro del floculador.

En base al caudal a tratar y del diámetro de circulación se determinará la velocidad del flujo, la misma es muy importante dado que ella permite que el floc circule empujada por el agua o se sedimente en velocidades muy bajas, para evitar estos problemas existe un rango de velocidades recomendadas en estudios previos. Arboleda en su libro “Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua” nos recomienda que la velocidad de flujo en los floculadores este entre 0.1-0.60 m/s (Arboleda Valencia, 1972).

La velocidad que calcula WaterCad es la velocidad de circulación teórica, y tiene la capacidad de evaluarla en diferentes tramos para poder determinar si al tener un flujo continuo con una velocidad constante a lo largo del floculador tubular generándose un flujo pistón de carácter laminar que es lo ideal para lograr que el flocs se genere con normalidad y se transporte según el sentido del fluido hacia el sedimentador para continuar con el proceso de purificación del agua.

2.4.2. Tiempo de retención dentro del sistema de floculación.

Es el tiempo que el agua permanece sometida a un proceso de tratamiento en una unidad determinada, es decir el tiempo promedio en que el fluido de un caudal previamente medido, circula por el floculador o unidad de tratamiento de volumen calculado anteriormente, generalmente es entre 10-60 minutos según se indica en el libro (Romero Rojas, 1999) citando al autor Jorge Arboleda.

El tiempo se puede calcular de manera teórica en base al caudal que recorre una longitud dada, este tiempo teórico se compara con el tiempo real de retención de los floculadores, para realizar esta medición se realizan ensayos de trazadores gracias al cual se puede medir el tiempo que el agua se demora en la vida real en recorrer el floculador.

Para las pruebas de trazador, se agregan sustancias conocidas como trazadoras en una concentración conocida, a la entrada o salida del dispositivo que se analiza, para determinar su tasa de flujo, cómo El patrón de distribución de concentración a lo largo del tiempo se determina a partir de la forma en que el equipo está funcionando, muerto espacio, patrones de flujo, corto y otras características hidráulicas deseadas, así como tiempos de retención (Hernández Ramírez, 2003).

2.4.3. Gradiente de velocidad.

El gradiente de velocidad representa el índice del cambio de velocidad que existe entre extremo a extremo de las placas, de tal manera se busca no tener un gradiente muy alto que produzca una reducción brusca lo cual puede generar estanqueidad, al igual que el gradiente no puede ser tan bajo, cuya velocidad sea similar en ambos extremos de las placas y no se esté dando una reducción lo cual produce que no haya tiempo suficiente de retención como para que el floc se forme.

Cuando comienza la floculación, se debe reducir la velocidad de agitación para evitar impactos de cizallamiento que rompan los flóculos; Es necesario determinar el estado agitación en el que las partículas y las cadenas de polímeros chocan para formar puentes de unión y, por lo tanto, agregados (Nuñez, 2015).

Altas velocidades pueden llegar a romper las largas cadenas poliméricas; por tanto, debe mantenerse una mezcla uniforme y se debe evitar la ruptura de los puentes formados entre polímeros y coloides (Agudelo, Mejía, Pinzón, & Agudelo, 2015).

(Romero Rojas, 1999) menciona diferentes autores, como para tiempo de retención y velocidades se utiliza el criterio de Jorge Arboleda, el mismo se aplicará para validar el gradiente. Arboleda recomienda un rango entre $10-100 \text{ s}^{-1}$.

2.5. FLOCULADORES TUBULARES EXISTENTES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE “BAYAS”

En la planta de tratamiento de agua potable de Bayas se encuentran contruidos los floculadores tubulares de geometría horizontal y vertical, estos floculadores piloto fueron ensamblados como un estudio experimental de dosificaciones de coagulación con el objetivo de evaluar la calidad de agua luego de que la misma reciba un tratamiento distinto al tradicional, es decir donde se varia el tipo y cantidad de floculante, sistema de floculación y sedimentación, así como el área de filtración lenta; este proceso de purificación alterno reduce el costo de tratamiento y se estudia como una opción

experimental para abaratar costos y espacio en la producción de agua óptima para el consumo humano.

El diseño y configuración de los diferentes FT inicia por el caudal que se desea tratar y por el espacio que se dispone para el emplazamiento de los esqueletos tubulares, de estos dos parámetros dependerá la longitud y diámetros necesarios para respetar las normas de tiempo de retención y gradientes de velocidad dentro de los floculadores, y cuyo armado pueda hacerse en el área disponible, teniendo una lucha de cotas, presiones, velocidades según se varíe la forma del armado.

De estos esqueletos tubulares se obtuvieron diferentes resultados de dosificación de coagulante, longitud y diámetro ideales para tratar un caudal de demanda establecido, también se estudiaron las dimensiones de los sedimentadores y la granulometría de los filtros según el caudal que se desee tratar, de dicha información en la presente tesis se utiliza la longitud y diámetro de los floculadores tubulares así como el caudal a tratar como punto de partida para en base a estos modelar virtualmente dichos floculadores y poder corroborar que los estudios de pérdidas, presiones y velocidades se encuentran correctos, post a este análisis en base a la modelación numérica se realiza una evaluación de la eficiencia hidráulica del funcionamiento de los diferentes diámetros longitudes y configuración geométrica, para seleccionar el más óptimo.

2.6. CRITERIOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FLOCULADOR TUBULAR.

Actualmente no se tiene establecido una guía para la construcción de los FT, por lo que para la conformación de los mismos se siguen los lineamientos que se manejan en sistemas de tuberías convencional donde se cumple el principio de continuidad que indica que el caudal de entrada es igual al caudal de salida.

Se debe analizar el caudal que se necesita tratar para cubrir la demanda de las personas a servir, con este dato de partida se procede a dimensionar la longitud y diámetro de los tubos asegurándonos que la floculación se realice de manera exitosa y que el proceso de sedimentación y filtrado entreguen un agua de calidad apto para el consumo humano.

En un análisis computacional de dinámica de fluidos de floculadores hidráulicos con pantallas, encontraron que el valor óptimo de H/D debería ser menor o igual a seis para una mezcla eficiente. (Haarhoff & Van der Walt, 2001). En un FT se busca evitar turbulencias de manera que el floc se forme dentro de la tubería y este circule transportado flotando en el agua hasta el punto de salida al filtro, para esto es necesario que la presión dentro de la tubería no afecte su circulación, evitando así cortos circuitos.

Los floculadores tubulares (FT) son reactores de flujo pistón que mediante una longitud calculada de tubería se expande en diámetro a lo largo de su longitud para promover la formación de flóculos

Como se mencionó previamente en el floculador se miden dos parámetros que definen su eficiencia como lo son gradiente de velocidad y tiempo de retención los mismos que se ven afectados por las pérdidas en el trayecto de la tubería debido a la fricción del agua con el material del tubo y pérdidas locales generadas por los artículos utilizados, factores que al igual que las presiones en los diferentes puntos de las tuberías deben ser tomados en cuenta en el momento del diseño de forma y ubicación de un floculador tubular.

2.6.1. Pérdidas de energía en un trayecto tubular.

Cuando se trabaja en una tubería existen diferentes pérdidas de energía debido al roce del fluido con las paredes del conducto (h_f) y de la alteración del sentido del flujo debido a diferentes accesorios (h_l), estas pérdidas generan que la energía con la que el agua inicia el recorrido y la que finaliza sean diferentes, esta variación de la línea de energía son las pérdidas que se dan a lo largo del trayecto como se puede ver en la ilustración 4. Se debe estudiar qué tipo de tubería y accesorios utilizados en el transporte del agua generan la menor pérdida de energía posible, ya que este será el modelo hidráulico de mayor eficiencia.

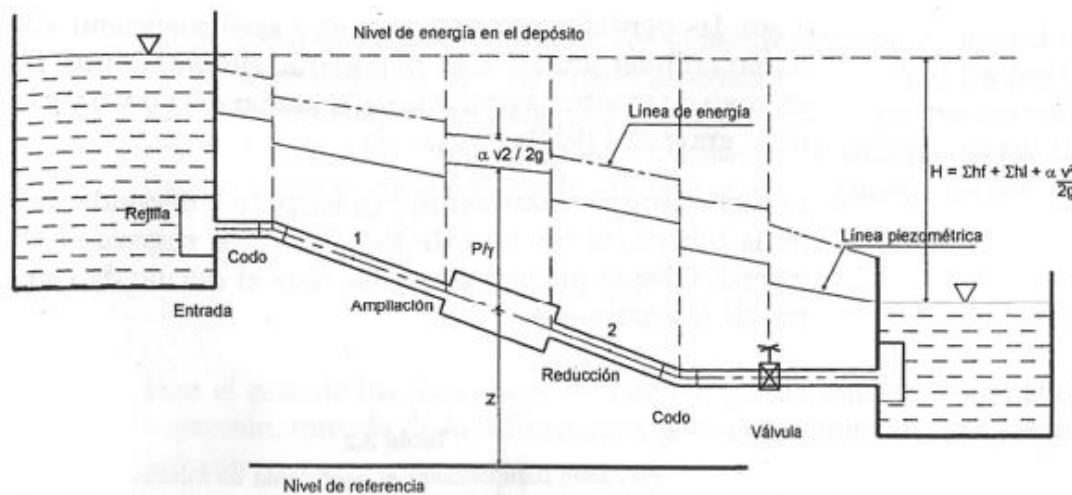


Ilustración 4 Esquema de pérdidas de energía entre dos puntos

Para poder medir estas pérdidas de parte del teorema de Bernoulli donde se considera que la energía a lo largo de un conducto se mantiene constante, pero como vimos esto no es real debido a las mencionadas pérdidas que sufre el fluido en la tubería, por lo cual en base a la ecuación de Bernoulli (1) se puede determinar las pérdidas obtenidas en un sistema.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

Donde:

z = altura con respecto a un nivel de referencia.

v = velocidad media en la sección transversal.

P/γ = presión en el eje del tubo.

α = coeficiente de corrección de la energía cinética, al considerar distribuciones uniformes de velocidad en un flujo turbulento, $\alpha=1$.

$$\text{Energía Inicial: } Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\text{Energía Final: } Z2 + \frac{P2}{\gamma} + \frac{V2^2}{2g}$$

Sin embargo, como se puede ver en la ilustración 4 la línea de energía no es constante, sino que existe una variación entre la salida y llegada del fluido por lo tanto a la ecuación 1 se le tiene que agregar las pérdidas que existen entre tramo y tramo para asegurar que la conservación se cumpla, entonces la ecuación queda como:

$$\text{Energía Inicial} = \text{Energía Final} + \text{Pérdidas}$$

Las pérdidas están dadas por pérdidas de fricción (h_f) y locales de accesorios (h_l) quedando la fórmula de la energía final como (2):

$$Z1 + \frac{P1}{\gamma} + \frac{V1^2}{2g} = Z2 + \frac{P2}{\gamma} + \frac{V2^2}{2g} + h_f + h_l \quad (2)$$

2.6.1.1. Pérdidas por fricción.

En el movimiento de un fluido real, parte de la energía que posee en el extremo de entrada de la línea, se disipa por la fricción interna del mismo fluido, su roce con las paredes de la conducción y los efectos de los cambios de dirección en el flujo. Justamente tal disipación es la que debe cuantificarse para caracterizar el flujo del fluido. A esa energía disipada se le conoce como pérdida por fricción durante el flujo (Díaz Castañeda & Álvarez Zapata, 2014).

Existen diferentes fórmulas para el cálculo de las pérdidas por fricción, cada autor recomienda ciertas condiciones que debe cumplir el fluido para reducir el error en el momento de evaluar las pérdidas mediante su fórmula, por ejemplo, el sistema de floculadores tubulares puede asimilarse a un sistema ramificado de tuberías, sistema en el cual el manual de WaterCad recomienda utilizar el método de Hazen-Williams para el cálculo de pérdidas por fricción, el manual también indica que para flujo laminar y turbulento se puede utilizar el método de Darcy-Weisbach.

2.6.1.1.1. Darcy-Weisbach

En la dinámica de fluidos, la ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación fenomenológica, que relaciona la pérdida de carga principal o pérdida de presión, debido a la fricción del fluido a lo largo de una longitud determinada de tubería con la velocidad promedio (Connor, 2019).

El coeficiente de fricción f en la ecuación de Darcy-Weisbach para la pérdida de flujo de líquido lineal bajo presión en un tubo cilíndrico cerrado se aproxima mediante una relación explícita (Papaevangelou, Evangelides, & Tzimopoulos, 2010). El software realiza el cálculo del factor de fricción mediante la fórmula de Poiseuille, la simplificación de la fórmula de Darcy y el modelo de cálculo se obtuvo del manual de WaterCad.

$$h_f = f * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = m * Q^n$$

$$f = \frac{64}{Re} \text{ Poiseuille (1846). Para tubos lisos y rugosos en la zona laminar}$$

$$m = 0.0827 * f * \frac{l}{D}$$

$$n = 2$$

Donde:

Hf: Pérdida de carga [m]

f: Factor de fricción [sin dimensiones]

D: Diámetro [m]

L: Longitud del tubo [m]

V: Velocidad media de flujo [m/s]

G: aceleración de la gravedad [m/s]

K: rugosidad

Re: Número de Reynolds

Q: Caudal (m³/s)

2.6.1.1.2. Hazen-Williams

Una de las fórmulas exponenciales más populares, sobre todo en las Américas, es la de Hazen-Williams, utilizada desde 1902, respaldada por experimentos de los autores y por los trabajos de sus predecesores. La ecuación de Hazen-Williams desde su aparición temprana en la primera década del siglo XX (1905) ha sido una herramienta importante en manos de los ingenieros dedicados al diseño de redes hidráulicas. El método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye en temperaturas ordinarias (5°C - 25°C). En este sentido, el valor óptimo de utilización en función de la temperatura es alrededor de los 15°C. Su aplicación a temperaturas mucho mayores o menores de este rango, podría dar como resultados errores en los valores estimados de las pérdidas de carga. La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad C no está en función de la velocidad ni del diámetro de la tubería (Martínez Valdés & Alegret Breña , 2019).

$$hf = f * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$hf = m * Q^n$$

$$Q = 0.85 * C * A * R^{0.63} * S^{0.54}$$

$$m = 10.64 * \frac{l}{C^{1.85} * D^{4.87}}$$

$$n = 1.85$$

Donde:

Q: Caudal [m³/s]

C: Coeficiente de rugosidad [sin dimensiones]

A: Área [m]

R: Radio hidráulico [m]

S: hf / L = Pendiente [m/m]

hf: Pérdida de carga [m]

D: Diámetro [m]

L: Longitud del tubo [m]

2.6.1.2. Pérdidas locales.

Las tuberías de conducción que se utilizan en la práctica están compuestas generalmente, por tramos rectos y curvos para ajustarse a los accidentes topográficos del terreno, así como los cambios que se presentan en la geometría sección y de los distintos dispositivos para el control de las descargas (válvulas y compuertas). Estos cambios originan pérdidas de energía localizadas en el sitio mismo del cambio de geometría o de la alteración de flujo. Tal tipo de pérdida se conoce como pérdida local (Cruzado Suárez, 2015).

Es importante mencionar que WaterCad toma la velocidad antes del accesorio para realizar los cálculos de pérdidas locales, el cálculo de las mismas se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$hl = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

Hl: Pérdida de energía en m

k: Coeficiente sin dimensiones que depende del tipo de pérdida que se trate

V: Carga de velocidad, aguas abajo, de la zona de alteración del flujo

El software computacional WaterCad realiza este cálculo de manera automática, donde únicamente será necesario ingresar el “coeficiente k” de pérdidas de cada accesorio el cual esta sugerido por la tabla de coeficientes del catálogo de WaterCad, este valor recomendado fue comparado con los coeficientes entregados en los catálogos de algunos productores de tuberías PVC y se pudo corroborar que son similares, por lo tanto, debido a la situación pandémica actual y las restricciones de salud no se pudo visitar a las fábricas para solicitar el catálogo completo y por ello se utilizó los coeficientes del software como se detalla en la tabla 2.

Tabla 2 Coeficientes k de pérdidas tomadas de software WaterCad

ACCESORIO	k
Válvula de compuerta	0.39
Codo de 90°	0.8
Tee flujo recto	0.35
Tee cambio de sentido de flujo	1.28
Empate	0.08
Codo 45°	0.2

Cruz flujo recto	0.5
Cruz cambio sentido de flujo	0.75
Cambio de diámetro	0.57

2.6.2. Presión en tuberías.

Las presiones máximas y mínimas (sobrepresión y baja presión) que se producen como posible consecuencia del vaciado y llenado total o parcial de una tubería pueden tener un efecto significativo en la tasa de fugas en la red. La alta presión contribuye a la ocurrencia de fugas, mientras que la presión negativa provoca la estanqueidad al flujo y, como resultado, las paredes de la tubería están sujetas a una presión externa que actúa radialmente en su periferia, que tiende a aplastar o colapsar el tubo.

La presión no tiene efecto alguno sobre la formación o destrucción de los flocs, sin embargo, al trabajar en un floculador tubular este tiene una importante participación en la circulación del agua ya que puede generar puntos muertos donde el agua se detiene, es entonces cuando es necesario determinar en qué punto de la tubería el fluido tiene problemas para así determinar el uso de accesorios complementarios como válvulas de aire para corregir este problema y así el flujo sea continuo a lo largo del floculador o tal vez modificar su carga hidráulica para darle mayor energía al sistema.

2.7. EFICIENCIA HIDRAULICA

La eficiencia hidráulica se define como la relación entre la capacidad de conducción y distribución del agua con la que cuenta un sistema hidráulico de abastecimiento, y la capacidad real con la que funciona dicho sistema (Comisión Nacional del Agua, 2012).

La evaluación de la eficiencia hidráulica se realiza a través del análisis de pérdidas de energía existente en el trayecto de floculación; se debe medir cual es el que menos pérdidas tiene siendo este el de mejor eficiencia, sin embargo que tenga menor pérdida no asegura que realice bien su trabajo por lo cual también se medirán diferentes parámetros como velocidad y presión de manera que la velocidad no sea tan alta y que por consecuencia el tiempo de retención en el FT sea corto y no exista formación de los flocs o tan baja que genere una circulación lenta y pueda generar sedimentación, es importante también verificar que la velocidad sea constante en los diferentes tramos de la tubería de esta manera corroboramos que existe flujo pistón. La presión a su vez nos ayuda a verificar que no existan presiones bajas dentro de los FT y que el agua este en constante circulación sin generar presiones negativas y en caso de existir saber dónde se ubican para determinar los correspondientes accesorios a utilizar para solucionar dichos inconvenientes o mejorar su respectiva carga hidráulica, la correcta calibración de los FT permite que estos parámetros trabajen dentro de los rangos recomendados por diferentes autores literarios, logrando así una gran eficiencia hidráulica.

CAPITULO III

3. METODOLOGIA

3.1. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La planta de tratamiento de agua potable se encuentra ubicada al noroeste de la ciudad de Azogues en la parroquia “Aurelio Bayas Martínez” de la región de Mahuarcay a una altura de 2797 msnm; en las coordenadas 740741 m E, 9699971 m S en la zona 17M, la operación de esta planta convencional es a gravedad, compuesta por las unidades de coagulación, floculación, sedimentación, filtración rápida y desinfección, la coagulación se realiza en el vertedero de entrada a la planta de tratamiento para posterior pasar al área de floculación, en la planta se trabaja con dos floculadores un horizontal y otro vertical con capacidad de 10 l/s cada uno dando como resultado final la capacidad de tratamiento de la planta de 20 l/s que en la actualidad cubre a una población de 1320 personas.

En esta planta de tratamiento se encuentran contruidos los esqueletos tubulares de floculadores horizontales y verticales a ser analizados en el presente ensayo, estos caudales fueron diseñados inicialmente para cubrir una demanda de 1 l/s, el floculador horizontal ocupa un área de 6 m² y el floculador vertical un área de 3.3 m² aproximadamente, estos están dentro de la planta de tratamiento de agua potable de “Bayas”



Ilustración 5 Ubicación de la Planta de Tratamiento de agua potable "Bayas"

3.2. MODELACIÓN VIRTUAL DEL SISTEMA PILOTO

3.2.1. Levantamiento topográfico y modelación virtual.

En la planta de tratamiento de agua potable “Bayas” se encuentran ya construidos los diferentes sistemas pilotos de floculadores tubulares de geometría horizontal y vertical, en los mismos se ha hecho circular diferentes caudales para evaluar su funcionamiento, debido a lo que se pudo observar en sitio existieron diferentes problemas con el flujo debido a lo cual en dichos esqueletos se tuvieron que colocar diferentes accesorios que ayuden a que el agua complete su circulación dentro del floculador, esto genera que dichos accesorios y tuberías tengan que ser levantados a detalle para poder modelarlos de manera virtual y simular su funcionamiento a fin de determinar exactamente los diferentes tramos del floculador que pueda presentar problemas con la circulación del fluido.

La toma de datos se realizó con estación total y de manera manual con cinta métrica, el levantamiento se generó en base a unas coordenadas relativas de $x:1000$ y $y:1000$ $z:2500$ en 2 hitos diferentes para poder ubicar el sitio de trabajo, la información levantada en campo se ingresaron en el software CivilCad para modelar virtualmente los esqueletos existentes en la planta como se muestra en la Ilustración 6, al finalizar la modelación virtual se visitó nuevamente la planta de tratamiento para corroborar la forma de los floculadores y que la ubicación de los diferentes accesorios sea idónea.



Ilustración 6 Sistema piloto de geometría vertical y horizontal respectivamente armados en la PTAP Bayas

Una vez formados los floculadores tubulares virtuales, se ubicaron los diferentes puntos donde estarán colocados los accesorios que forman parte de los sistemas para posterior a terminar la modelación virtual ingresar el modelo en el software WaterCad donde en cada tubería, nodo, se definirán que tipo de accesorio existe, que longitud de tubería se tiene y demás información de campo a fin de poder determinar que los floculadores tubulares físicos y virtuales funcionen de manera similar.

3.2.1.1. Conducción y entrada a los floculadores.

Los floculadores horizontales y verticales están alimentados por una tubería PVC de 63mm que conduce el líquido desde el punto donde el agua ingresa hacia la planta y se genera la mezcla con el coagulante como se puede ver en la ilustración 8. Desde este punto se conduce el agua hacia los dos floculadores tubulares existentes en la planta, para el floculador horizontal existen dos entradas como se puede ver en la ilustración 9. Entre la captación y los diferentes puntos de ingreso existe una diferencia de cotas que permiten que el agua circule mediante gravedad, la diferencia de cotas entre la captación y la entrada a la tubería de 110mm es de 2.2m y con la entrada de la tubería de 75mm la diferencia de cotas es de 2.9m, antes del ingreso de cada tubería existe una válvula la cual permitirá que cada tubería trabaje de manera individual o combinada según se requiera realizar el análisis.



Ilustración 8 Punto de captación para el transporte de agua hacia los floculadores vertical y horizontal



Ilustración 9 Entrada superior floculador horizontal diámetro 110mm e inferior diámetro 75mm

La manera en la que el agua es transportada desde la captación hacia el floculador vertical es similar a la manera del FT horizontal, sin embargo, cabe mencionar que cada floculador tubular tiene una tubería individual para su alimentación, de esta manera al trabajar los dos floculadores al mismo tiempo el caudal no se divide.

El agua circula a gravedad y la diferencia de cotas entre la captación y la entrada al FT vertical es de 0.6m. Esta diferencia es muy pequeña lo cual no le permite al fluido obtener una energía a presión en metros de columna de agua que permita terminar el recorrido dentro del floculador, este problema será mencionado y analizado a fondo más adelante.

El floculador vertical de igual manera tiene dos entradas las cuales están ubicadas en la parte superior de las tuberías como se lo puede ver en la imagen 10, la primera entrada conecta la captación con el floculador de 63mm y la segunda la conecta con el floculador de diámetro 110mm, las dos entradas están en la misma cota.



Ilustración 10 Entrada floculador vertical diámetro 110mm y 63 mm

3.2.1.2. Floculador tubular de geometría horizontal

El floculador horizontal esta armado con tuberías PVC y cuenta con diferentes configuraciones de diámetros y longitudes con el objetivo de poder realizar diferentes corridas y corroborar información entre diferentes recorridos del agua.

La primera configuración está conformada por una tubería de 110 mm de diámetro y cuenta con dos longitudes una de 65.5 y otra de 94.7 metros las cuales pueden trabajar de manera conjunta o separada mediante la apertura de una válvula. La segunda configuración está construida por una tubería de diámetro de 75mm cuya longitud es de 89.3 metros, estas diferentes longitudes se pueden combinar para realizar diferentes ensayos teniendo como opciones las mencionadas en la tabla 3.

Tabla 3 Configuración de diámetros y longitudes para ensayos en floculador tubular horizontal

CONFIGURACION	DIAMETRO [mm]	LONGITUD [m]
1	75	89.3
2	110	65.5
3	110	94.7
4	110 y 75	107.8
5	110 y 75	136.8

Para obtener una mayor variedad de datos y poder compararlos a fin de evaluar el funcionamiento del sistema, se hicieron circular cinco caudales distintos de 0.25, 0.5, 0.75, 1 y 2 l/s a través de cada una de las diferentes longitudes, cabe mencionar que el recorrido se dio con normalidad sin interrupciones en el flujo en este tipo de floculador.

3.2.1.3. Floculador tubular de geometría vertical

Al igual que la tubería horizontal la construcción del floculador tubular vertical esta conformados por tuberías de PVC, se utilizó el mismo principio de variar diámetros y longitudes para poder realizar diferentes ensayos y corroborar resultados.

La primera configuración de FT verticales es con una tubería de 63mm cuya longitud es de 91.4 metros. La segunda configuración es de 110mm y tiene dos longitudes las una de 56.3 y la otra de 78 metros, de igual manera el flujo es regulado por válvulas para poder hacer trabajar al sistema con diferentes combinaciones como lo indica la tabla 4.

Tabla 4 Configuración de diámetros y longitudes para ensayos en floculador tubular vertical

CONFIGURACION	DIAMETRO [mm]	LONGITUD [m]
1	63	91.4

2	110	56.3
3	110	78
4	110 y 63	154.9
5	110 y 63	176.7

Las diferentes configuraciones permiten que la velocidad varíe dentro del sistema lo cual genera un cambio en el tiempo de retención y gradiente de velocidad, esto genera que el floculo pueda formarse de mejor manera o quizá pueda verse afectado y sedimentarse; el caudal también cambio entre 5 opciones iguales a las anteriores de 0.25, 0.5, 0.75, 1 y 2 l/s el resultado final que se obtiene en cada combinación se analiza para valorar su eficiencia. Cabe mencionar que en la circulación de los caudales de 1 y 2 l/s, no se logró completar el circuito por lo cual se intuye un posible problema de presiones.

3.3. ANÁLISIS DE PARAMETROS HIDRÁULICOS EN EL FLOCULADOR HORIZONTAL Y VERTICAL

3.3.1. Presión

La presión es muy importante en el análisis de un floculador tubular, dado que los mismos están fabricados para ciertos rangos de funcionamiento de presiones máximas, si esta presión se excede los componentes del floculador pueden fallar por grietas a su vez también es necesario medir la presión dado que, si la misma no excede el límite sugerido por el fabricante, pero es alta pueden serse afectadas las uniones de los diferentes accesorios generando fugas de agua. Por otro lado, si la presión es negativa el flujo no se completa con normalidad dentro del circuito, por lo tanto, debido a que desde el ingreso hasta la salida del floculador existe una continua disminución en la presión de circulación del agua, se ha optado por colocar puntos de análisis en diferentes nodos los cuales están ubicados en la parte final de cada tubería de transporte, de esta manera si en el análisis del nodo se obtiene una presión negativa se puede determinar que el flujo no se está realizando con normalidad en la tubería previa.

Las presiones admisibles por todos los accesorios de material PVC utilizados en el armado de los floculadores y de las respectivas conducciones es de 1 Mpa como se puede observar en los rotulados escritos en la tubería.

3.3.2. Velocidad

El autor Jorge Arboleda recomienda rangos de velocidad para una floculación exitosa, dicho rango será utilizado para validar el funcionamiento tanto del floculador vertical como del horizontal, la velocidad que se obtiene mediante el software WaterCad es teórica, es decir depende directamente del caudal que circula por cierto diámetro de tubería.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

V: Velocidad m/s

Q: Caudal m³/s

A: Área de la tubería m^2

Las velocidades se evalúan en diferentes tramos del circuito para determinar si es continua en todo el floculador y validar la existencia del flujo pistón el mismo que indica que las partículas se trasladan perpendicularmente siguiendo un cierto orden, lo cual es ideal para el proceso de floculación.

Al trabajar con diferentes configuraciones de caudales en diferentes diámetros de tuberías se generan problemas en diferentes combinaciones, si hay velocidades fuera de los rangos recomendados estas deberán ser analizadas para posteriormente sugerir opciones de soluciones a fin de lograr que todo el sistema trabaje para diferentes demandas de forma óptima.

3.3.3. Tiempo de retención.

WaterCad presenta como resultado final los tiempos teóricos de retención, en los dos diámetros se hacen circular diferentes caudales y en caso de que alguno de ellos presente problema se realiza una sugerencia de modificación para poder estar dentro de las especificaciones que permiten una correcta floculación, es importante mencionar que el actual armado de floculadores tubulares existentes en la PTAP de Bayas ocupa en su totalidad el espacio disponible para el montaje, de tal manera que la recomendación más adecuada se basa en un cambio de diámetro para aumentar o reducir los tiempos de retención, y en el peor de los casos conservar los actuales tubos y sugerir adiciones de longitudes lo cual se hace en base la siguiente formula.

$$t = d/V$$

Donde:

V: Velocidad en m/s

d: Distancia en m

t: tiempo en s

Como se puede ver el tiempo está en relación tanto de la distancia como de la velocidad que se relaciona directamente con el área de circulación, por lo cual, el análisis de cambio de diámetros o adición de longitud es viable para cambiar la demora de retención.

3.3.4. Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad se puede evaluar tanto por tramos como para el sistema completo, es recomendado medir las pérdidas totales de energía existente entre dos puntos de control para que con esta información y las condiciones de viscosidad y densidad del agua circundante se pueda cuantificar el gradiente de velocidad, el cual de igual manera que la velocidad y la presión, debe de estar dentro de un rango recomendado.

Para evaluar el funcionamiento del modelo actual se puede utilizar los rangos recomendados por (Romero Rojas, 1999) de un máximo de $100s^{-1}$, el cual será evaluado a partir de la siguiente ecuación.

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{\rho * g * hf}{\mu * t}}$$

Dónde:

G: Gradiente de velocidad medio (s^{-1}).

hf: Perdida de carga (m).

ρ : Densidad del agua (kg/m^3).

g: Gravedad (m/s^2).

μ : Viscosidad dinámica del agua ($kg/m \cdot s$).

t: Tiempo teórico de retención (s).

Tabla 5 Parámetros del agua en la entrada al floculador

Viscosidad dinámica (kg/m. s)	$1.17 \cdot 10^{-3}$
Densidad (kg/m^3)	999.33
Gravedad (m/s^2)	9.8

Mientras mayor es la longitud de floculación mayor es el tiempo de retención dentro del sistema y por lo tanto menor será el gradiente, no es útil trabajar con un gradiente menor al recomendado a los autores dado que después del área de floculación procede la sedimentación donde se requiere que el agua llegue con un régimen laminar, sin embargo un gradiente alto representa un cambio brusco de velocidades que podrían generar estanqueidad, por lo tanto, el momento de sugerir un modelo optimo, se sugiere cumplir con los rangos teóricos.

3.4. DISEÑO DE UN MODELO DE FLOCULADOR HORIZONTAL Y VERTICAL CON UNA MEJOR EFICIENCIA HIDRAULICA

Actualmente existe un armado piloto de floculadores tubulares ubicados en la planta de tratamiento de agua potable de la comunidad “Bayas”; en el presente estudio se evaluó el funcionamiento que tienen estos floculadores ante diferentes caudales, y con diferentes combinaciones de diámetros y longitudes. Con el objetivo de evitar inversión de dinero y poder corregir los errores que actualmente se tiene en la circulación del fluido y a su vez se cumpla con la floculación, se ha decidido que el floculador de optimo funcionamiento se base en el esqueleto ya existente, de tal forma que dependiendo del caudal se establezca que diámetro y que longitud del floculador debe utilizarse, entregando como resultado final un manual de operaciones que aclare las respectivas combinaciones.

Para la variación del diámetro de la tubería se trabaja con los datos de partida que serán el caudal y la velocidad la cual se obtiene del rango teórico recomendando y así se obtendrá nuevos datos de diámetro de tal manera que el floculador trabaje para el caudal demandado.

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \pi * r^2$$

Donde:

Q: Caudal en m³/s

V: Velocidad en m/s

A: Área del círculo en m²

En cambio, si la variación se tiene que realizar de longitud para ajustar el tiempo de retención este se hace en base a los parámetros iniciales de igual manera recomendados en la teoría de tiempo mínimo y velocidad de circulación el cual se conoce en base al caudal y área de circulación se podrá obtener entonces la longitud requerida, como se detalla en la siguiente ecuación.

$$d = V * t$$

Donde:

V: Velocidad en m/s

d: Distancia en m

t: tiempo en s

Al variar el tiempo de retención del agua en la tubería y la velocidad de circulación se varía también el gradiente de velocidad, estos tres parámetros son los que deben estar ajustados dentro de los rangos recomendados por los diferentes autores para asegurar un correcto funcionamiento de los floculadores tubulares.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS PARA FLOCULADORES TUBULARES.

Mediante el software WaterCad se pudo ingresar y determinar los factores de velocidad, longitud, pérdidas de energía y presión en diferentes puntos, en el anexo 1 se puede ver el modelo de tablas de resultados que se obtienen del programa computacional pero ya que son tablas muy amplias debido a los diferentes análisis realizados, los resultados pueden verse en el área de anexo 3 siguiendo el vínculo el cual conduce al Excel de cada ensayo, con la información de estos Excel se determinó los diferentes parámetros para validar el funcionamiento de los floculadores los cuales se basan en la recomendación de (Romero Rojas, 1999) en su libro “Potabilización del agua” de donde se obtuvieron rangos que se presentan en la tabla 6.

Tabla 6 Parámetros para la evaluación del funcionamiento del floculador horizontal según Arboleda Jorge

PARAMETRO	AUTOR	RANGO
Velocidad	Arboleda Jorge	0.10-0.60 m/s
Tiempo de retención	Arboleda Jorge	10-30 min
Gradiente de velocidad	Arboleda Jorge	10-100 s^{-1}

En las tablas de resultados de WaterCad se analiza cada uno de las recomendaciones de Arboleda Jorge y con el objetivo de poder realizar un análisis más sencillo se trabajará con una gama de colores para analizar si cumple o no con dichas recomendaciones, como se presentan en la próxima tabla.

Tabla 7 Gama de colores para el análisis de resultados de WaterCad

Cumple con los parámetros de Arboleda Jorge	■
No cumple con al menos un parámetro	■
No cumple por presiones negativas	■

En cuanto al floculador horizontal se determinó que para el caudal de 0.25 y 2 l/s existen inconvenientes en la circulación ya que para el caudal pequeño no se cumple con el parámetro de gradiente de velocidad y para el caudal grande no se cumple con el tiempo de retención. Para este floculador existen dos diámetros de circulación de 75 y 110mm, siendo el de 110mm el más recomendado para manejar el caudal de 2 l/s después de realizarle una extensión de la longitud actual de la tubería generando que el tiempo de retención aumente y llegue a estar dentro de los rangos de diseño y para el caudal pequeño es necesario cambiar de tubería ya que la de 75mm es demasiado grande para este caudal por lo cual se requiere un cambio de diámetro siendo necesario un tercer diámetro en el sistema de floculadores horizontal.

Por otra parte, para los caudales de 0.5, 0.75, y 1 l/s las presiones, tiempos de retención y gradientes de velocidad no presentan problemas para este tipo de floculador cuyos resultados se pueden visualizar más ampliados en el anexo 3, en su respectivo vínculo.

Tabla 8 Detalle de los caudales que presentan problemas en la floculación de tubería horizontal y su respectiva recomendación

PROBLEMA EN EL FLOCULADOR HORIZONTAL	
CAUDAL	PROBLEMA
0.25 l/s	Gradiente de velocidad muy bajo
2 l/s	Tiempo de retención muy bajo
SOLUCION SUGERIDA PARA EL FLOCULADOR HORIZONTAL	
CAUDAL	PROBLEMA
0.25 l/s	Cambio de diámetro a una tubería menor
2 l/s	Cambio de longitud a una más larga

Con respecto al floculador vertical esta orientación geométrica al igual que la horizontal presenta problemas en trabajar con un caudal de 2 l/s en cuanto a tiempo de retención respecta, por lo cual se necesita realizar también un alargamiento de la tubería de 110mm para que pueda cubrirse esta demanda, sin embargo tanto este caudal de 1 l/s como el caudal de 2 l/s presentan problemas de presiones negativas que impiden que el circuito se complete el tercer caudal que presenta problemas es el de 0.5l/s que tiene un tiempo de retención muy bajo, por lo cual en el modelo optimo se tendrá que corregir estos inconvenientes para que el floculador pueda trabajar de manera efectiva ante diferentes demandas.

Tabla 9 Detalle de los caudales que presentan problemas en la floculación de tubería vertical y su respectiva recomendación.

PROBLEMA EN EL FLOCULADOR VERTICAL	
CAUDAL	PROBLEMA
1 l/s	Presiones negativas
2 l/s	Presiones negativas y bajo tiempo de retención
SOLUCION SUGERIDA PARA EL FLOCULADOR VERTICAL	
1 l/s	Cambio de cotas en el floculador y se aprovecha el aumento de longitud para mejorar tiempo de retención.
2 l/s	Cambio de longitud a una más larga

Los actuales floculadores armados en campo, fueron diseñados para transportar un caudal de 1 l/s, la variación de diámetros y longitud se hicieron para validar la capacidad de cada floculador en cubrir diferentes demandas, por ello se hicieron circular otros cuatro caudales distintos al de diseño y se observó el comportamiento y las respectivas complicaciones en el flujo, en la tabla 10 se puede ver como para cada caudal el floculador puede o no cumplir con su objetivo.

4.1.1. Análisis de tiempos de retención, velocidad y gradiente de velocidad floculador horizontal.

Después del caudal de 2 l/s que como podemos visualizar en la tabla 8 no cumple con el parámetro de tiempo de retención, el caudal de 0.25 l/s es el más complejo de tratar ya que su gradiente de velocidad está por debajo del rango recomendado por (Romero Rojas, 1999), esta información se presenta detallada a continuación en la tabla de resultados obtenido de WaterCad y para que pueda analizarse de manera más didáctica cada floculador se presenta de sombreado de color celeste los que cumplen con los parámetros de floculación y de color melón las que no cumplen según se recomendó en la tabla 7.

Tabla 10 Resultados de floculador tubular horizontal ante diferentes caudales de demanda

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	LONGITUD (m)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	TIEMPO TEORICO (min)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
0.25	75	0.07	89.3	0.0039	22.4	5
	110	0.03	65.6	0.0022	35.5	3.0
	110	0.03	94.6	0.0031	51.2	2.9
	75 + 110	0.07	107.8	0.0028	46.4	2.9
		0.03				
	75 + 110	0.07	137	0.0111	62.1	5.0
		0.03				
0.5	75	0.13	89.3	0.0140	11.2	13.2
	110	0.06	65.6	0.0079	17.7	7.9
	110	0.06	94.6	0.0110	25.6	7.8
	75 + 110	0.13	107.8	0.0333	23.2	14.2
		0.06				
	75 + 110	0.13	137	0.0368	31.0	12.9
		0.06				
0.75	75	0.20	89.3	0.0301	7.5	23.7
	110	0.1	65.6	0.0152	11.8	13.4
	110	0.1	94.6	0.0220	17.1	13.4
	75 + 110	0.20	107.8	0.0688	15.5	24.9
		0.1				
	75 + 110	0.20	137	0.0756	20.7	22.6
		0.1				
1	75	0.27	89.3	0.0521	5.6	36.0

	110	0.12	65.5	0.0259	8.9	20.2
	110	0.12	94.7	0.0375	12.8	20.2
	75 + 110	0.27	107.8	0.1173	11.6	37.6
		0.12				
	75 + 110	0.27	137	0.1286	15.5	34.0
		0.12				
2	75	0.53	89.3	0.7382	2.8	191.8
	110	0.25	65.6	0.0947	4.4	54.6
	110	0.25	94.7	0.1366	6.4	54.6
	75 + 110	0.53	107.8	0.4271	5.8	101.4
		0.25				
	75 + 110	0.53	137	0.4691	7.8	91.9
		0.25				

Se puede observar que existe al menos una combinación sombreada de celeste que permite que el floculador opere sin interrupciones excepto para el caudal de 0.25 y 2 l/s el caudal no reúne los requisitos bajo ninguna combinación, por lo cual se necesita realizar adaptaciones a este floculador para que pueda flocular cada uno de los caudales ensayados.

4.1.2. Análisis de tiempos de retención, velocidad y gradiente de velocidad de floculador vertical.

En el floculador vertical al igual que en el horizontal existen dos diámetros de tuberías uno de 63 mm y otro de 110mm que pueden trabajar de manera independiente o combinando las dos secciones de tuberías, en esta geometría vertical los caudales que no presentan problemas son los de 0.25, 0.75 l/s, la demanda de 0.5 l/s presenta problemas en el tiempo de retención para el diámetro de 63mm y de velocidad para el diámetro de 110 mm; el caudal de 1 y 2 l/s tiene complicaciones de presiones negativas en las tuberías de 63mm y en las combinadas de 63 y 110mm lo cual se puede corregir evitando que la tubería de diámetro 63mm funcione en el proceso de floculación de estas demandas con lo que se solucionaría únicamente el problema de para 1 l/s ya que para los 2 l/s aparte de presiones negativas cabe recordar que la longitud máxima de tubería 110mm no permite cumplir con el parámetro de tiempo de retención.

Tabla 11 Resultados de floculador tubular vertical ante diferentes caudales de demanda

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	LONGITUD (m)	PERDIDAS TOTALES DARCY- WEISBACH (m)	TIEMPO TEORICO (min)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
0.25	63	0.10	91.4	0.0461	16.0	20.0
	110	0.03	56.3	0.0033	30.3	3.9
	110	0.03	78.1	0.0042	42.0	3.8
	63 + 110	0.10	154.9	0.0536	47.6	12.5
		0.03				

	63 + 110	0.10	176.7	0.0547	59.3	11.3
		0.03				
0.5	63	0.19	91.4	0.1664	8.1	53.7
	110	0.06	56.3	0.0097	15.1	9.5
	110	0.06	78.1	0.0132	21.0	9.4
	63 + 110	0.19	154.9	0.1901	23.8	33.4
		0.06				
	63 + 110	0.19	176.7	0.1938	29.7	30.2
		0.06				
0.75	63	0.28	91.4	0.3554	5.4	96.1
	110	0.1	56.3	0.0199	10.1	16.6
	110	0.1	78.1	0.0277	14.0	16.6
	63 + 110	0.28	154.9	0.4048	15.9	59.6
		0.1				
	63 + 110	0.28	176.7	0.4120	19.8	53.9
		0.1				
1	63	0.4	91.4	0.6114	4.0	145.5
	110	0.1	56.3	0.0342	7.6	25.0
	110	0.1	78.0	0.0476	10.6	25.1
	63 + 110	0.4	154.9	0.6965	12.0	90.1
		0.1				
	63 + 110	0.4	176.7	0.7087	14.9	81.4
		0.1				
2	63	0.8	91.4	2.2854	2.0	398.0
	110	0.2	56.3	0.1298	3.8	69.1
	110	0.2	78.0	0.1795	5.3	69.0
	63 + 110	0.8	154.9	2.6054	6.0	246.8
		0.2				
	63 + 110	0.8	176.7	2.6521	7.4	223.0
		0.2				

De color celeste se pueden observar las opciones que cumplen con la floculación de naranja las que incumplen con algún parámetro y de amarillo se pueden diferenciar los diámetros o combinaciones de diámetro que generan problemas de circulación debido a presiones negativas, para corregir esto es necesario variar las cotas del esqueleto floculador, sin embargo, dado a la ubicación actual dentro de la planta de tratamiento de agua potable Bayas esto no es muy viable ya que no se podría excavar demasiado por lo que para evitar las presiones negativas se harán trabajar los caudales de 1 y 2 l/s en las tuberías de 110mm únicamente.

4.1.3. Análisis de presiones floculador vertical.

En el floculador vertical existen un total de 24 tubos de 63mm y 21 tubos de 110mm de 3 metros de longitud todos; el segmento de tubos de 63 mm está conectado con el de 110mm a través de un amplificador de diámetro. Como se mencionó anteriormente y se puede observar en el anexo 3 en el caudal de 1 y 2 l/s en la tubería de 63 mm existen

presiones negativas. Esto se obtuvo a través del análisis mediante el software de WaterCad donde se obtuvo que para la demanda de 1 l/s el nodo de control número 40 indica la existencia de presiones negativas lo que quiere decir que el agua tiene problemas de circulación en la tubería número 20, esto impide que el segundo segmento de tuberías de 110mm no trabaje dado que el flujo nunca alcance siquiera el punto de aumento de diámetro.

En cambio, para el caudal de 2 l/s que de igual manera falla en la tubería de 63mm este fallo se produce en el nodo de control numero 8 colocado al final de la tubería número 4, de igual forma el agua no llega al cambio de diámetro y la tubería de 110mm nunca entra a trabajar. El detalle de los inconvenientes del fluido para estos dos caudales se presenta a continuación en la tabla número 12.

Tabla 12 Detalle de problemas de circulación en el floculador vertical

CAUDAL	DIAMETRO	NODO	TUBERIA	LONGITUD RECORRIDA	PRESION MAXIMA EN EL FLOCULADOR
1 l/s	63 mm	40	20	72.4 m	-0.19 mca
2 l/s	63 mm	8	4	11.4 m	-2.3 mca

Para poder solucionar este problema de presiones, en campo se han colocado válvulas de aire en la parte superior de todas las tuberías como se puede ver en la imagen 4, esta solución se colocó de manera empírica luego de observar el problema que se presentó en la circulación en los ensayos prácticos realizados en la planta.



Ilustración 4 Válvulas de aire colocadas en la parte superior de los floculadores verticales debido a problemas con la circulación del agua por presiones negativas

El análisis grafico de las presiones negativas se presenta a continuación para los dos caudales donde la línea azul representa los tramos que el agua llega a concretar sin inconvenientes su recorrido y de color naranja se puede diferenciar las tuberías de 63 mm

donde ya no existe flujo debido a presiones negativas y de color rojo las tuberías de 110mm que no tienen flujo. En el eje de x se encuentra la longitud de tuberías y en el eje y las presiones, se puede observar como a mayor longitud la presión disminuye, todo esto por las pérdidas producidas.

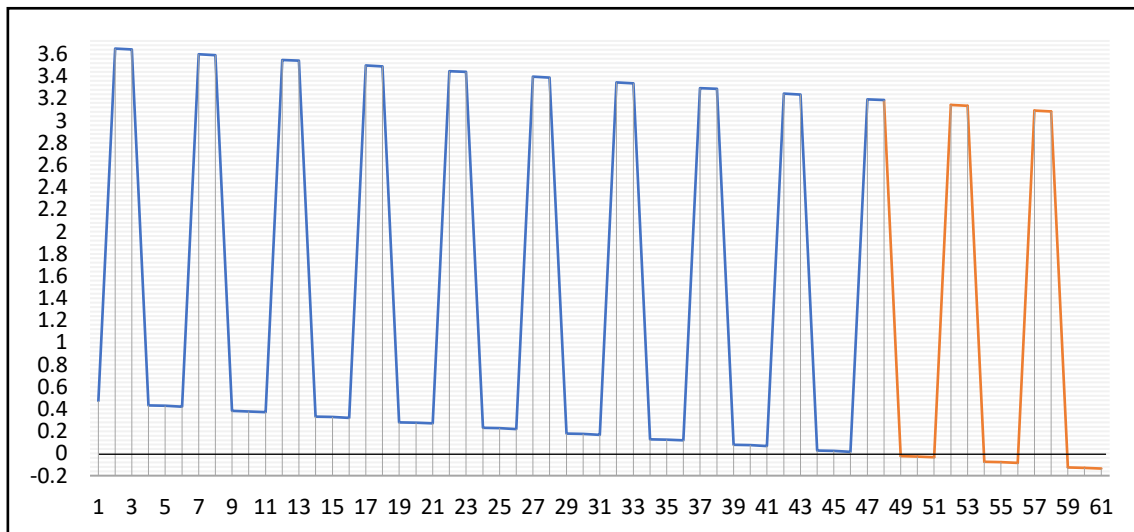


Ilustración 5 Gráfico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63 mm, caudal de 1 l/s de longitud 91.4m

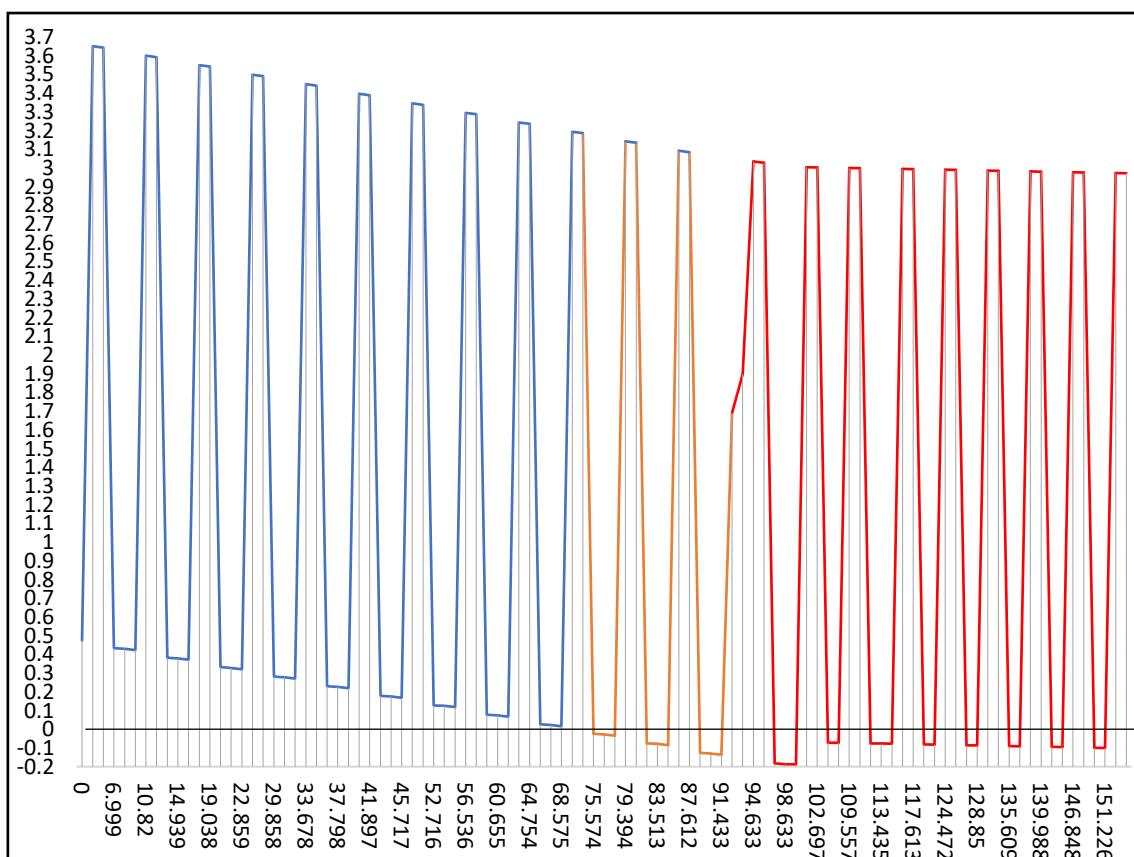


Ilustración 6 Gráfico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63+110 mm caudal de 1 l/s de longitud 154.9 m

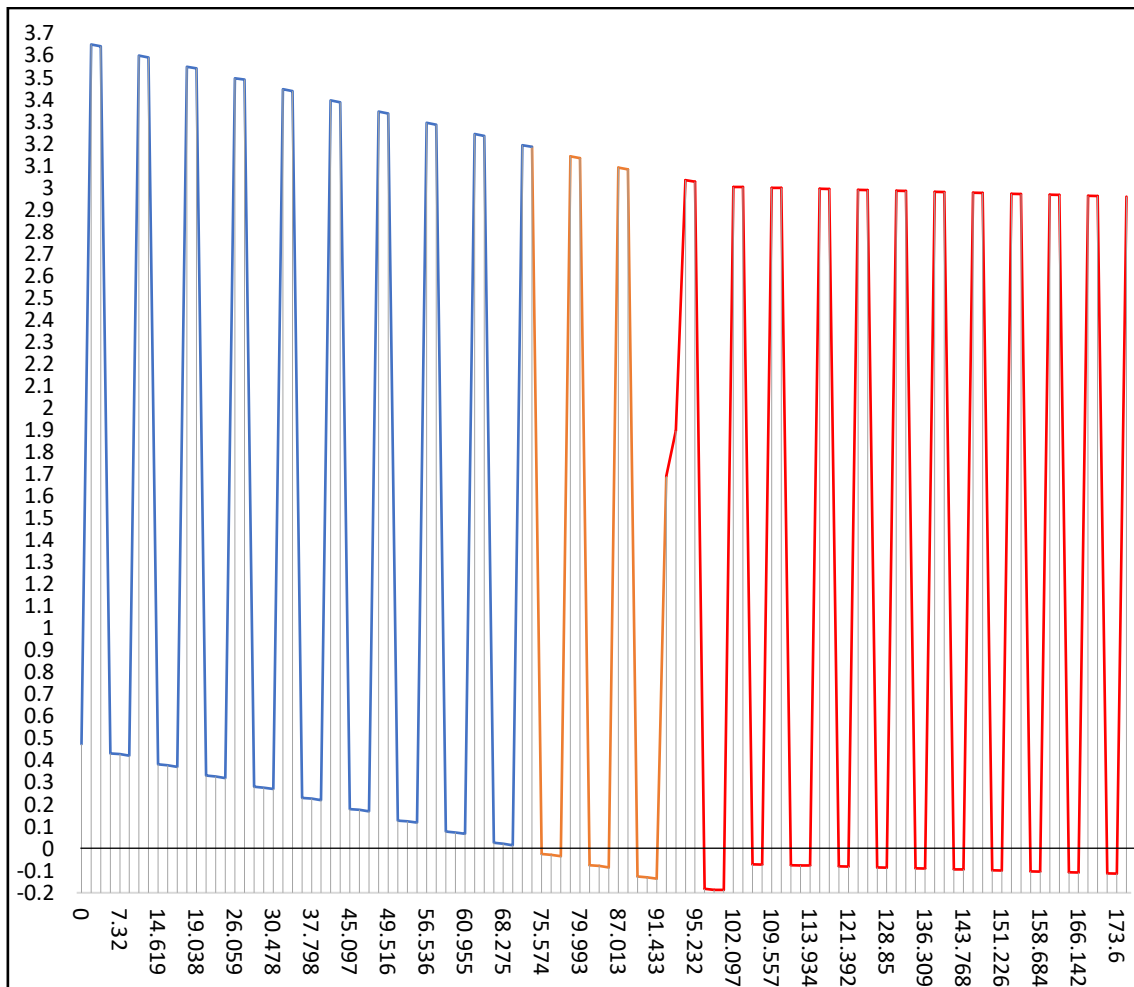


Ilustración 7 Grafico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63+110 mm caudal de 1 l/s de longitud 176.7 m

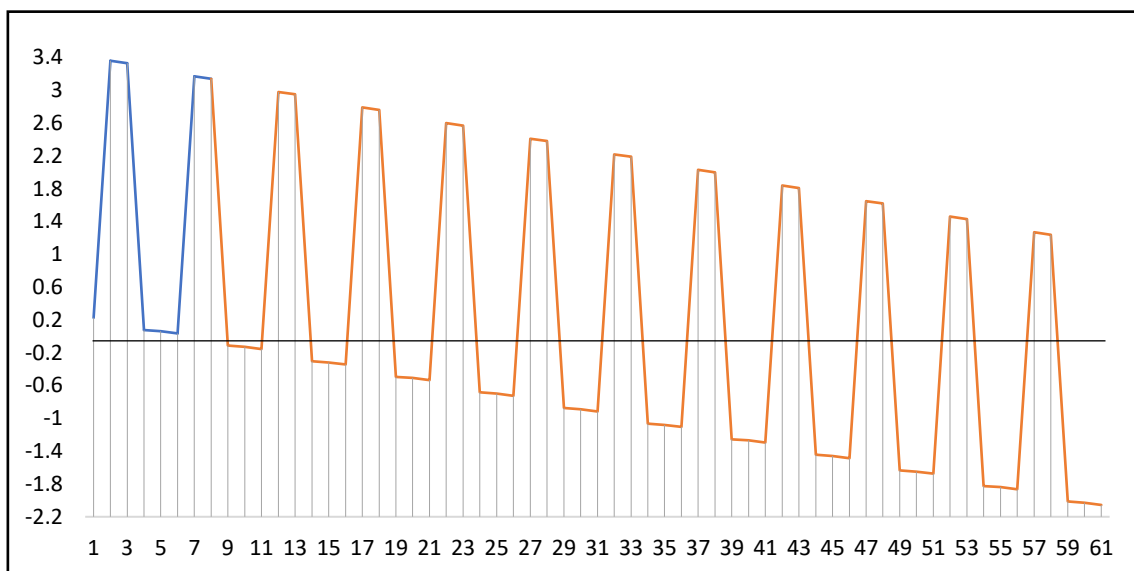


Ilustración 8 Grafico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63 mm caudal de 2 l/s de longitud 91.4 m

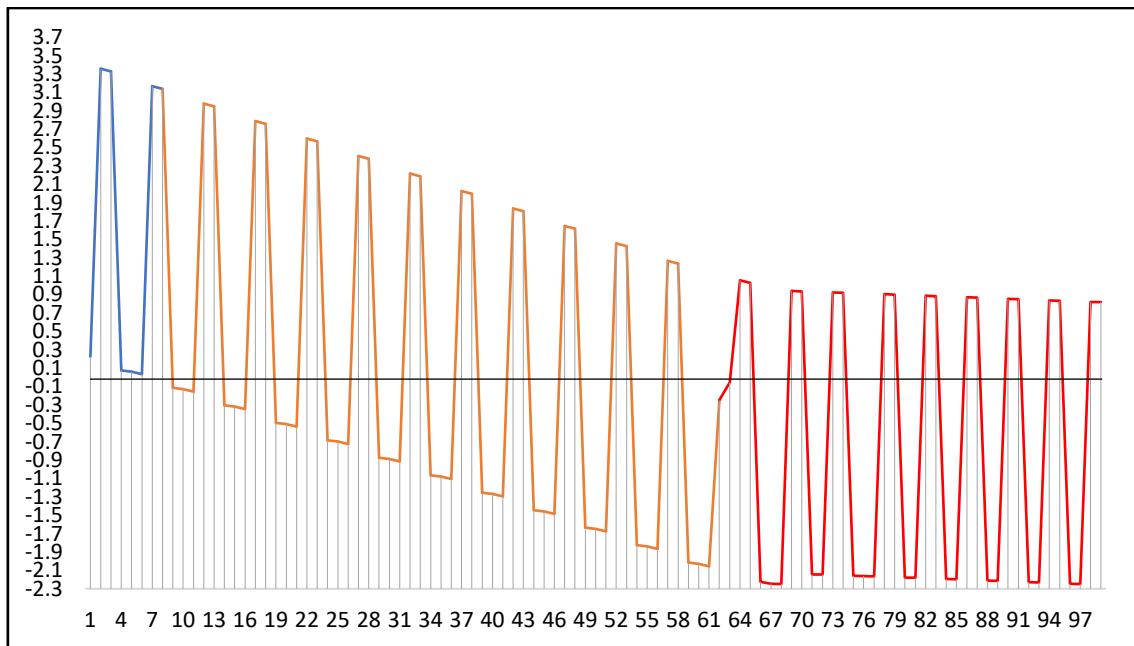


Ilustración 9 Grafico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63+110 mm caudal de 2 l/s de longitud 154.9 m

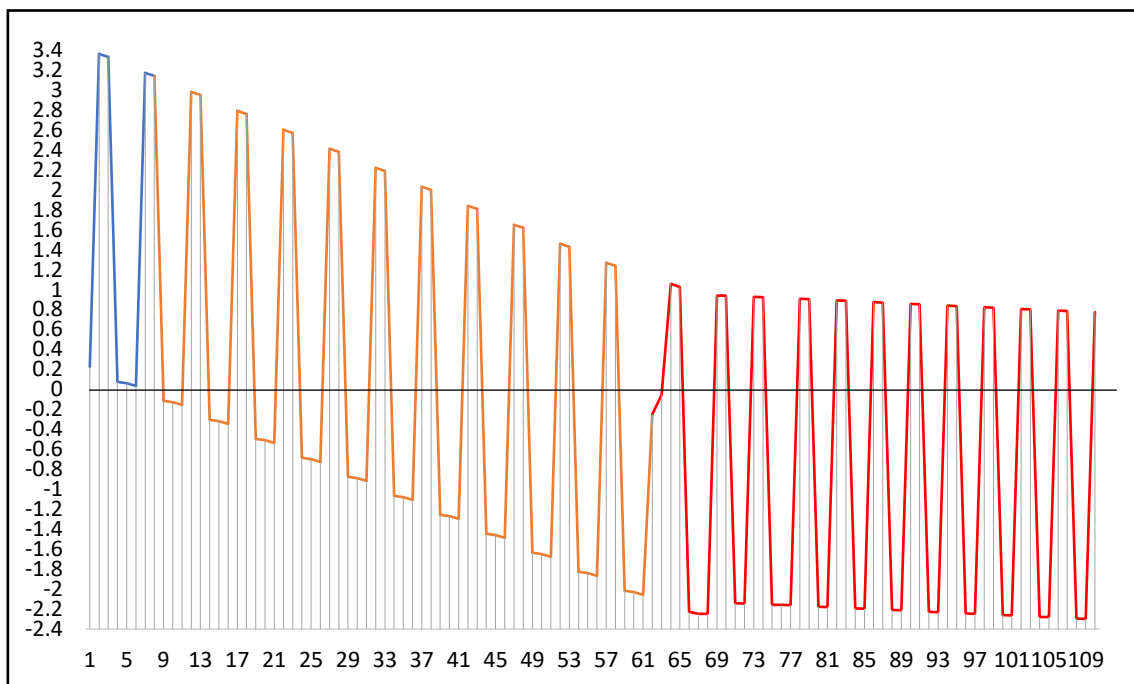


Ilustración 10 Grafico de longitud (eje x) vs presiones (eje y) para tubería de 63+110 mm caudal de 2 l/s de longitud 176.7 m

La solución para las presiones negativas es mover la estructura de la tubería 3 metros abajo realizando una excavación in situ, pero, como se mencionó previamente esto no es viable por las prestaciones de la planta donde se encuentra armado el floculador entonces la solución alternativa y la que se sugiere hasta el momento en el presente estudio es; que para el caudal de 1 l/s y 2 l/s se trabaje únicamente con la tubería de 110mm añadiendo longitud para cumplir con las medidas de floculación.

CAPITULO V

5. CORRECCION CONSTRUCTIVA CON EL OBJETIVO DE SOLUCIONAR LOS PROBLEMS DE FLUJO.

5.1. MODELO CORREGIDO DEL FLOCULADOR TUBULAR HORIZONTAL Y SUGERENCIA DE FUNCIONAMIENTO SEGÚN LA DEMANDA DE CAUDAL A TRATAR.

El floculador horizontal no cumple con los requisitos de floculación en los caudales de 0.25 y 2 l/s, en el primer caudal se incumple con la velocidad y el gradiente de velocidad recomendado en la tabla 6 y en el segundo caudal el problema es con el tiempo de retención; para poder solucionar estos inconvenientes es necesario hacer variaciones en el armado actual ya que la tubería de 110mm que cubre el caudal de 2 l/s debe tener una mayor longitud pasando de 94.7 metros a 148 metros, y para el caudal de 0.25 l/s es necesario variar el diámetro de la tubería y definir una nueva longitud, haciendo que en el floculador horizontal existan tres diferentes diámetros de tuberías las cuales deben armarse en el mismo espacio que actualmente se ocupa en la planta de tratamiento de “Bayas” sin superar la cota de la captación para evitar presiones negativas, por lo tanto, el floculador horizontal cambia de forma de un armado rectangular como se lo ve en la ilustración 6 a un armado ideal como se lo puede apreciar en la ilustración 11. A continuación en la tabla 13 se detalla los cambios a realizar y en la ilustración 11 se puede ver la sugerencia de armado para una floculación óptima ante diferentes demandas ensayadas.

Tabla 13 Detalle de variaciones sugeridas para el floculador horizontal

CAUDAL	DIAMETRO	LONGITUD ACTUAL	LONGITUD DE ADICION	LONGITUD MINIMA
2 l/s	110 mm	94.7 m	53.3 m	148.0 m
CAUDAL	DIAMETRO ACTUAL	DIAMETRO NUEVO	LONGITUD NUEVA TUBERIA	
0.25 l/s	75 mm	63 mm	70 m	

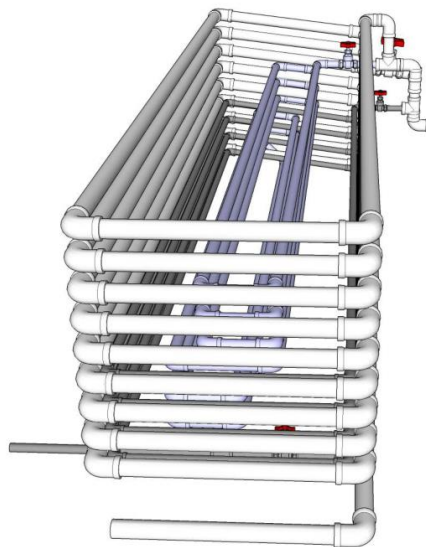


Ilustración 11 Modelación de construcción de la solución para floculador horizontal.

Donde la tubería la ploma es de 63mm, la violeta es de 75mm las cuales se emplazan dentro de la tubería blanca que es la de 110mm; el cálculo de los cambios sugeridos se los puede ver en el anexo 4, con la realización de estas variaciones en el armado de los floculadores tubulares horizontales se podrá flocular las diferentes demandas ensayadas siguiendo las recomendaciones establecidas en la tabla 15; la información más detallada de las recomendaciones se puede visualizar en el anexo 4 en el vínculo “ANEXO_MODELO_OPTIMO_HORIZONTAL”.

Tabla 14 Configuración de diámetros y longitudes recomendados para tratar diferentes caudales de demanda en los floculadores horizontales

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	LONGITUD (m)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	TIEMPO TEORICO (min)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
0.25	63	0.10	70.7	0.027	12.4	17.6
0.5	75	0.13	89.3	0.014	11.2	13.2
0.75	110	0.09	110.6	0.025	19.8	13.2
0.75	110	0.09	161.9	0.037	29.0	13.3
1	110	0.12	110.6	0.042	15.0	19.8
1	110	0.12	161.9	0.062	21.9	19.9
2	110	0.25	161.9	0.227	10.9	53.8

Es verdad que para un caudal pueden existir más de una configuración con la capacidad de flocular con éxito la demanda requerida, sin embargo, la recomendación más óptima se basa en tener el tiempo de retención más alto dentro de la tubería pero que este dentro del rango teórico recomendado, esto asegura una mejor formación de los flocs dentro de la tubería y se mejora el proceso posterior de sedimentación, por lo que la recomendación que se sugiere para caudal se resume en la siguiente tabla.

Tabla 15 Manual de longitudes y diámetros a utilizar para diferentes caudales dentro del floculador horizontal.

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	LONGITUD (m)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	TIEMPO TEORICO (min)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
0.25	63	0.10	70.7	0.027	12.4	17.6
0.5	75	0.13	89.3	0.014	11.2	13.2
0.75	110	0.09	161.9	0.037	29.0	13.3
1	110	0.12	161.9	0.062	21.9	19.9
2	110	0.25	161.9	0.227	10.9	53.8

5.2. MODELO CORREGIDO PARA FLOCULADOR TUBULAR VERTICAL Y SUGERENCIA DE FUNCIONAMIENTO SEGÚN LA DEMANDA DE CAUDAL A TRATAR.

La tabla 11 nos permite observar que el fluido en la tubería vertical presenta tres incumplimientos de los parámetros sugeridos por Jorge Arboleda, la primera es el tiempo de retención para caudales de 2 l/s en tubería de 110 mm y para caudales de 0.5 l/s en

tuberías de 63 mm; la segunda son presiones negativas para caudales de 1 y 2 l/s en tuberías de 63mm. Como solución se sugiere que la tubería de 63 mm no entre en funcionamiento para estos últimos dos caudales evitando así el problema de presiones, siendo necesario que se alargue la tubería de 63 y 110 mm de diámetro para cumplir con los tiempos de retención. Otra sugerencia es el cambio de diámetro, sin embargo, con el objetivo de evitar gastos mayores en el armado actual se sugiere trabajar con las tuberías que se disponen en la planta de tratamiento de agua potable actualmente.

Los cálculos de las longitudes de tuberías a adicionar se pueden visualizar en el anexo 4 donde se obtiene que la longitud a alargar en la tubería de 110mm es de 69.2 metros y debido a las dimensiones de las tuberías de mercado y a los cortes que se deben realizar se ha redondeado a una longitud de 70 m de tubería facilitando el aspecto constructivo este tramo se colocara al final de la tubería ya existente, en cambio para la tubería de 63 mm se necesitan 21.4 metros cuya colocación final será de 22m adicional y se ubicaran al finalizar la tubería de 63 metros, quedando la nueva estructura como se presenta en la ilustración 12, las longitudes a aumentar se detalla en la tabla 16 y se puede revisar más ampliado en el anexo 4 siguiendo el vínculo denominado.

“ANEXO_MODELO_OPTIMO_VERTICAL”.

Tabla 16 Detalle de variaciones el floculador vertical

CAUDAL	DIAMETRO	LONGITUD ACTUAL	LONGITUD DE ADICION	LONGITUD MINIMA
0.5 l/s	63 mm	91.4 m	21.4 m	112.8 m
2 l/s	110 mm	78.0 m	69.2 m	147.2 m

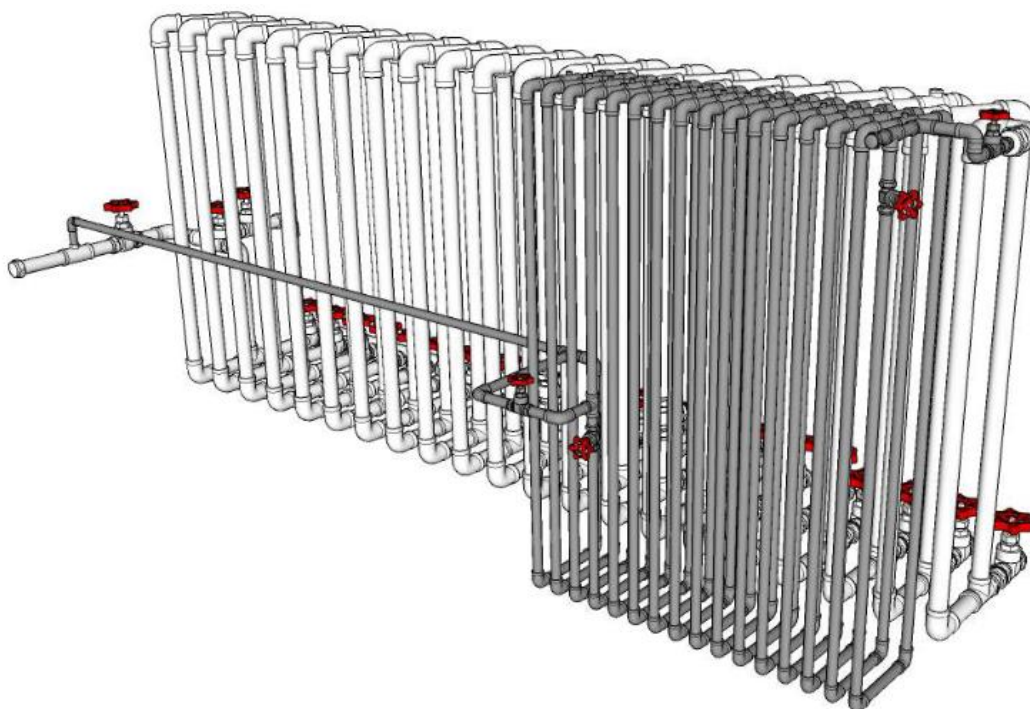


Ilustración 12 Modelación de construcción de la solución para floculador vertical.

El aumento de longitud genera mayores pérdidas y debido a que el floculador vertical trabaja con presiones bajas como se lo puede observar en el anexo 5 en el vínculo “CALCULO_DE_EFICIENCIAS_HIDRAULICAS” para evitar problemas de presiones negativas la entrada a los floculadores se ajustan a una nueva ubicación 50 cm más baja a la actual esto aumenta la diferencia de altura entre captación lo que incrementa la presión de mca a la entrada de los floculadores y asegurar una mejor circulación del agua, después si la eficiencia del floculador se determinaría baja esta diferencia de altura podría aumentar aún más.

Tabla 17 Cambio de cota en el floculador vertical para evitar problemas de presiones debido al alargamiento de las longitudes de tuberías

	PARTE SUPERIOR	PARTE INFERIOR
NUEVA COTA	2501.72	2498.52
ANTERIOR COTA	2502.22	2499.02

Con la sugerencia de estos cambios el floculador vertical tiene la capacidad de trabajar para los diferentes caudales ensayados realizando diferentes combinaciones de longitud y diámetros dependiendo de la demanda a tratar, para un resultado final de floculación optimo se recomienda seguir las instrucciones presentadas en la siguiente tabla.

Tabla 18 Configuración de diámetros y longitudes recomendados para tratar diferentes caudales de demanda en los floculadores verticales

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	LONGITUD (m)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	TIEMPO TEORICO (min)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S^{-1})
0.25	63	0.10	91.3	0.0473	16.0	20.3
0.25	63	0.10	118.0	0.0619	20.7	20.4
0.5	63	0.19	118.0	0.2143	10.4	53.6
0.75	110	0.1	77.8	0.0274	13.9	16.6
0.75	110	0.1	152.4	0.0545	27.3	16.7
1	110	0.1	77.8	0.0470	10.5	24.9
1	110	0.12	152.4	0.0929	20.6	25.1
2	110	0.25	152.4	0.35	10.3	68.9

La aplicación de las sugerencias dadas aumenta las longitudes de los floculadores, esto permite realizar nuevas combinaciones de longitudes para mejorar el proceso de floculación concluyendo que las mejores recomendaciones para cada caudal serían las presentadas a continuación.

Tabla 19 Manual de longitudes y diámetros a utilizar para diferentes caudales dentro del floculador vertical.

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	LONGITUD (m)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	TIEMPO TEORICO (min)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S^{-1})
0.25	63	0.10	118.0	0.0619	20.7	20.4
0.5	63	0.19	118.0	0.2143	10.4	53.6
0.75	110	0.1	152.4	0.0545	27.3	16.7
1	110	0.12	152.4	0.0929	20.6	25.1
2	110	0.25	152.4	0.35	10.3	68.9

CAPITULO VI

6. ANALISIS DE EFICIENCIA HIDRAULICA DE LOS FLOCULADORES.

6.1. EFICIENCIA HIDRÁULICA FLOCULADOR HORIZONTAL.

6.1.1. Análisis de la eficiencia hidráulica del funcionamiento de floculadores tubulares que se encuentran actualmente armados en campo.

En la planta de tratamiento de agua potable “Bayas” actualmente se encuentran construido el esqueleto del floculador tubular en el cual como se demostró no logra cumplir con todas las demandas de caudales ensayados, sin embargo, de los tres caudales que, si se pudo cubrir en el ensayo, a continuación, se puede visualizar la eficiencia que tuvo cada recorrido.

Tabla 20 Detalle de la eficiencia hidráulica de los ensayos realizados en el floculador horizontal.

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR (m)	PERDIDAS TOTALES DARCY- WEISBACH (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA SALIDA DEL FLOCULADOR (m)	EFICIENCIA (%)
0.25	-	-	-	-	-	-
0.5	75	89.3	2.889	0.014	2.875	99.5
0.75	110	65.6	2.117	0.022	2.095	99.0
	110	94.7	2.117	0.022	2.095	99.0
	75+110	107.8	2.85	0.069	2.781	97.6
	75+110	137	2.85	0.076	2.773	97.3
1	110	65.6	2.073	0.038	2.035	98.2
	110	94.7	2.073	0.038	2.035	98.2
	75+110	107.8	2.802	0.117	2.685	95.8
	75+110	137	2.80	0.129	2.673	95.4
2	-	-	-	-	-	-

Cuando para un caudal existe más de una opción que puede flocular con éxito se recomienda utilizar el más eficiente energéticamente, por lo tanto, para el armado actual de los floculadores tubulares los más eficientes son.

Tabla 21 Resumen de las mejores eficiencias hidráulicas de los floculadores horizontales actualmente construidos.

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR	PERDIDAS TOTALES DARCY- WEISBACH (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA SALIDA DEL FLOCULADOR	EFICIENCIA (%)
0.5	75	89.3	2.889	0.014	2.875	99.5
0.75	110	94.7	2.117	0.022	2.095	99.0
1	110	94.7	2.073	0.038	2.035	98.2

6.1.2. Análisis de la eficiencia hidráulica de floculadores tubulares horizontal que se sugieren armar.

Para cubrir con todos los caudales de ensayo, se ha sugerido realizar ajustes al armado actual, del análisis realizado en el software WaterCad se obtuvo la información resumida en la tabla 22 donde se indica las eficiencias hidráulicas que tiene el floculador horizontal recomendado.

Tabla 22 Detalle de la eficiencia hidráulica del modelo recomendado para el floculador horizontal

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA SALIDA DEL FLOCULADOR	EFICIENCIA (%)
0.25	63	70.7	2.908	0.027	2.881	99.1
0.5	75	89.3	2.889	0.014	2.875	99.5
0.75	110	110.6	1.708	0.025	1.683	98.6
	110	161.9	1.703	0.037	1.666	97.8
1	110	110.6	1.659	0.042	1.617	97.5
	110	161.9	1.659	0.062	1.597	96.3
2	110	161.9	1.375	0.227	1.149	83.5

Al alargar la tubería de 110 mm se puede utilizar esta nueva longitud para los caudales de 0.75 y 1 l/s y como se puede observar de la anterior tabla, sin embargo, a mayor longitud mayor pérdida de energía, por lo cual en cuanto a eficiencias es más recomendable utilizar las longitudes donde actualmente trabajan estos caudales sin embargo las longitudes cambiaran en el nuevo armado por razones constructivas pero la variación de la longitud no será significativa, siendo necesarios cambios bruscos únicamente para cubrir las demandas faltantes.

Tabla 23 Resumen de las mejores eficiencias hidráulicas de los floculadores horizontales sugeridos

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA SALIDA DEL FLOCULADOR	EFICIENCIA (%)
0.25	63	70.7	2.908	0.027	2.881	99.1
0.5	75	89.3	2.889	0.014	2.875	99.5
0.75	110	110.6	1.708	0.025	1.683	98.6
1	110	110.6	1.659	0.042	1.617	97.5
2	110	161.9	1.375	0.227	1.149	83.5

6.2. EFICIENCIA HIDRÁULICA FLOCULADOR VERTICAL.

6.2.1. Análisis de la eficiencia hidráulica del funcionamiento de floculadores tubulares que se encuentran actualmente armados en campo.

El floculador vertical construido en campo al igual que el horizontal no pudo cubrir con todos los caudales ensayados y de los que si lograron cubrir se obtuvieron las siguientes eficiencias de funcionamiento

Tabla 24 Detalle de la eficiencia hidráulica de los ensayos realizados en el floculador vertical.

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR (m)	PERDIDAS TOTALES DARCY- WEISBACH (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA SALIDA DEL FLOCULADOR (m)	EFICIENCIA (%)
0.25	63	91.4	0.562	0.046	0.516	91.8
0.5	-	-	-	-	-	-
0.75	110	56.3	0.513	0.020	0.493	96.1
	110	176.7	0.513	0.028	0.485	94.6
	63+110	154.9	0.513	0.405	0.108	21.1
	63+110	176.7	0.513	0.412	0.101	19.7
1	110	56.3	0.444	0.034	0.410	92.3
	110	78.0	0.444	0.048	0.396	89.3
	63+110	154.9	0.474	0.697	-0.223	0.0
	63+110	176.7	0.474	0.709	-0.235	0.0
2	-	-	-	-	-	-

En las dos geometrías de floculadores existen caudales que se pueden tratar bajo diferentes combinaciones de diámetros y longitudes, sin embargo, el más eficiente para trabajar en floculadores verticales se presenta en la tabla 25.

Tabla 25 Resumen de las mejores eficiencias hidráulicas de los floculadores verticales actualmente construidos

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR	PERDIDAS TOTALES DARCY- WEISBACH (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA SALIDA DEL FLOCULADOR	EFICIENCIA (%)
0.25	63	91.4	0.562	0.046	0.516	91.8
0.75	110	56.3	0.513	0.020	0.493	96.1
1	110	56.3	0.444	0.034	0.410	92.3

6.2.2. Análisis de la eficiencia hidráulica de floculadores tubulares verticales que se sugieren armar.

Los cambios que se realizaron en la geometría vertical permiten cubrir los cinco caudales requeridos y al tener que realizar cambios de longitudes en las dos tuberías que conforman este floculador se pudieron realizar nuevas combinaciones de diámetros y longitudes, sin embargo, estas nuevas configuraciones generan más pérdidas de energía a las actuales como se demuestra a continuación.

Tabla 26 Detalle de la eficiencia hidráulica del modelo recomendado para el floculador vertical

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR	PERDIDAS TOTALES DARCY- WEISBACH (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA SALIDA DEL FLOCULADOR	EFICIENCIA (%)
0.25	63	91.3	1.060	0.047	1.013	95.5

0.25	63	118	1.060	0.062	0.998	94.2
0.5	63	118	1.039	0.214	0.825	79.4
0.75	110	77.8	0.995	0.027	0.968	97.2
0.75	110	152.4	0.995	0.054	0.941	94.5
1	110	77.8	0.942	0.047	0.895	95.0
1	110	152.4	0.942	0.093	0.849	90.1
2	110	152.4	0.712	0.350	0.362	50.8

Como se mencionó a mayor longitud mayor perdida por lo tanto menor eficiencia, lo cual genera la necesidad de especificar que combinación es de mejor eficiencia para cada caudal como se indica en la tabla 27.

Tabla 27 Resumen de las mejores eficiencias hidráulicas de los floculadores verticales sugeridos

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR	PERDIDAS TOTALES DARCY- WEISBACH (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA SALIDA DEL FLOCULADOR	EFICIENCIA (%)
0.25	63	91.3	1.060	0.047	1.013	95.5
0.5	63	118	1.039	0.214	0.825	79.4
0.75	110	77.8	0.995	0.027	0.968	97.2
1	110	77.8	0.942	0.047	0.895	95.0
2	110	152.4	0.712	0.350	0.362	50.8

Para demandas de 0.5 y 2 l/s; caudales para los cuales se sugirieron los cambios a realizar del floculador inicial se obtienen eficiencias hidráulicas bajas, su eficiencia mejora aumentando la diferencia de cotas entre captación e ingreso al floculador para lo cual si inicialmente se aumentó 50 cm de diferencia para evitar presiones negativas generadas por el incremento de longitud de las tuberías, a esos 50 cm adicionalmente se recomienda aumentar 1.50 metros más, de esta manera con 2 metros de desnivel se mejoran las eficiencias como se puede observar a continuación.

Tabla 28 Eficiencia hidráulica de floculadores debido al aumento de desnivel entre captación y entrada a floculador.

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR (m)	PERDIDAS TOTALES DARCY- WEISBACH (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA SALIDA DEL FLOCULADOR (m)	EFICIENCIA (%)
0.5	63	118	2.538	0.214	2.324	91.6
2	110	152.4	2.101	0.350	1.751	83.3

El aumento del desnivel como se demuestra en la tabla 28 aumenta la eficiencia hidráulica de 79.4 % a 91.6% para el caudal de 0.5 l/s y del caudal de 2l/s se aumenta de 50.8% a 83.3%, esta recomendación se sugiere realizar siempre que las condiciones naturales y constructivas de la planta de tratamiento de agua potable de “Bayas” lo permita, ya que este cambio permitirá aumentar la eficiencia de todos los caudales que circulen por este floculador.

6.3. COMPARACIÓN DE EFICIENCIA HIDRÁULICA ENTRE FLOCULADOR HORIZONTAL Y VERTICAL.

6.3.1. Análisis de la eficiencia hidráulica entre floculadores tubulares horizontales y verticales actualmente armados en campo.

Si se unen las capacidades de flocular de las dos orientaciones geometrías el único caudal que no se logra flocular es el de 2 l/s. Los otros caudales pueden tratarse en horizontal o en vertical o en ambos y dependiendo del caudal que se trate existirá una geometría más eficiente que la otra, esto se muestra en la tabla 29, donde para cada caudal se ha determinado el más ideal y por lo tanto más eficiente.

Tabla 29 Detalle de la eficiencia hidráulica de la comparación entre modelos actuales.

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA SALIDA DEL FLOCULADOR	ORIENTACION
0.25	63	70.7	2.908	0.027	2.881	VERTICAL
0.5	75	89.3	2.889	0.014	2.875	HORIZONTAL
0.75	110	94.7	2.117	0.022	2.095	HORIZONTAL
1	110	94.7	2.073	0.038	2.035	HORIZONTAL
2	-	-	-	-	-	-

6.3.2. Análisis de la eficiencia hidráulica entre floculadores tubulares horizontales y verticales que se sugieren armar.

De las recomendaciones realizadas con el objetivo de poder cubrir con todas las demandas ensayadas también se ha hecho un análisis de eficiencias para determinar el mejor como se lo puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 30 Detalle de la eficiencia hidráulica de la comparación entre modelos sugeridos.

CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	ENERGIA DE PRESION POR mca A LA SALIDA DEL FLOCULADOR	ORIENTACION
0.25	63	70.7	2.908	0.027	2.881	HORIZONTAL
0.5	75	89.3	2.889	0.014	2.875	HORIZONTAL
0.75	110	110.6	1.708	0.025	1.683	HORIZONTAL
1	110	110.6	1.659	0.042	1.617	HORIZONTAL
2	110	161.9	1.375	0.227	1.149	HORIZONTAL

Para todos los caudales incluido el de 2 l/s que presento problemas en ambos floculadores la orientación de mejor eficiencia es la horizontal, este análisis se lo puede ver en el anexo 5, este floculador requiere mayor espacio de emplazamiento por lo cual dependerá de las condiciones del sitio el escoger que orientación a colocar.

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente estudio se planteó analizar de manera numérica la eficiencia hidráulica en diferentes configuraciones geométricas de floculadores tubulares, además de comprender los patrones hidráulicos de las diferentes configuraciones geométricas de los floculadores, analizar su eficiencia hidráulica, distribución de presiones y velocidades en los floculadores haciendo uso de un programa computacional y establecer recomendaciones constructivas de los modelos para el correcto funcionamiento de los floculadores.

7.1. CONCLUSIONES.

Las dos configuraciones de los floculadores tubulares presentan ventajas y desventajas dependiendo de su orientación. Inicialmente estos floculadores fueron diseñados para cubrir una demanda de 1 l/s y como se presentó en el análisis de la presente tesis, para estas condiciones los dos floculadores trabajan de manera correcta con una buena eficiencia en tuberías de 110 mm de diámetro. Sin embargo, cuando los 2 floculadores fueron probados con diferentes demandas, presentaron problemas de: presiones, tiempos de retención, gradientes de velocidad o velocidad de circulación. En el floculador horizontal no se pudo cubrir caudales de 0.25, y 2 l/s y en el floculador vertical existieron problemas con caudales de 0.5 y 2 l/s, presentado presiones negativas en los caudales de 1 y 2 l/s.

Estos fallos fueron corregidos gracias al análisis realizado en el programa computacional WaterCad. Con la información numérica obtenida del programa, se pudieron solucionar los problemas existentes. En el floculador horizontal se presentaron incumplimientos de velocidad de circulación y gradiente de velocidad para el caudal de 0.25 l/s y de tiempo de retención en el caudal de 2 l/s, inicialmente configurado con dos diámetros de tuberías una de 75 y otra de 110mm. La solución a los problemas de floculación exige la adición de un tercer diámetro que cubra el caudal de 0.25 l/s y de la extensión en la actual longitud de la tubería existente de 110 mm para poder cubrir la demanda de 2 l/s. La nueva tubería de 63 mm debe tener una longitud de 70 metros para cumplir con los parámetros de floculación y la tubería de 110 mm debe alargarse 53.3 metros permitiendo así la optimización del floculador, logrando cubrir todos los diferentes caudales de ensayo.

En el floculador vertical existen dos longitudes de tuberías configuradas con diámetros de 63mm y la de 110mm que pueden trabajar de manera conjunta o individual. Los problemas de presiones negativas se solucionan evitando que el diámetro de 63 mm intervenga en el proceso de floculación de los caudales de 1 y 2 l/s. Es importante indicar que los caudales en mención circulen solo en la configuración de tubería de diámetro 110mm donde el único problema sería el tiempo de retención en demandas de 2 l/s. Ante lo expuesto, es necesario alargar la tubería en una longitud de 69.2 metros. Una solución similar es necesaria en la tubería de 63 mm donde se debe alargar 21.4 metros para poder cumplir con el tiempo de retención en el caudal de 0.5 l/s.

Por último, al evaluar las eficiencias hidráulicas tanto de los modelos construidos en la planta de tratamiento de agua potable “Bayas” como la de los modelos sugeridos, se determinó que la eficiencia de funcionamiento más baja se presenta al tratar el caudal de 2 l/s el cual en el floculador vertical presenta una eficiencia del 83.3% y en el horizontal una eficiencia de 83.5 %. El tener eficiencias similares en ambas orientaciones nos

permite concluir que este caudal que en un inicio resultaba intratable bajo ninguna configuración existente, ahora se podrá trabajar en cualquiera de los dos floculadores una vez se ejecuten los cambios sugeridos.

7.2. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar un estudio de costumbres de la comunidad a servir y poder determinar los caudales máximos y mínimos de demanda para en base a ellos poder determinar el diámetro de tubería y la longitud requerida para cubrir las diferentes demandas, y según el caudal que se desee tratar a diferentes horas del día el floculador trabaje en su totalidad o en una sección del mismo, lo cual se puede hacer gracias a la colocación válvulas de compuerta que permitan pasar o detener el agua para que trabajen diferentes tramos del floculador según se requiera abastecer.

Tras analizar las dos orientaciones geométricas de los floculadores; el floculador vertical presento más problemas en su funcionamiento donde se determinó que la variación de cotas ayuda a mejorar su eficiencia hidráulica, pero esto genera un aumento en la presión del agua circundante y podría generar problemas en las uniones, por lo cual se recomienda realizar un estudio más exhaustivo de este tipo de floculador a fin de determinar las condiciones ideales de funcionalidad y eficiencia.

CAPITULO VIII

8. BIBLIOGRAFIA

- Ortiz Padilla, F. (2017). *FLOCULADORES MECÁNICOS*. Cuenca - Ecuador: Universidad del Azuay.
- Agudelo, S., Mejía, J., Pinzón, L., & Agudelo, S. (2015). *ELABORACIÓN Y MEJORAMIENTO DE UN PROTOTIPO DE FLOCULADOR*. UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA, VILLAVICENCIO.
- Aguirre Martinez, D. (2015). *EVALUACIÓN DEL FLOCULADOR EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA*. MACHALA: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA.
- Aguirre, F. (2015). *EVALUACIÓN DEL FLOCULADOR EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "LA ESPERANZA" QUE ABASTECE A LOS CANTONES MACHALA, PASAJE Y EL GUABO, PROVINCIA DE EL ORO*. MACHALA: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2928/1/EVALUACI%C3%93N%20PTAP%20LA%20ESPERANZA..pdf>
- Alpada Campos, J. (2001). *MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL FLOCULADOR DE PALETAS DE EJE HORIZONTAL, MEDIANTE CAMBIO A UN SISTEMA HJDRÁULICO DE FLUJO VERTICAL, EN LA POTABILIZADORA CENTRO DE LA CIUDAD DE NUEVO LAREDO, TAMAULEPAS*. Nuevo Leon, Mexico: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON.
- Arboleda Valencia, J. (1972). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Lima - Peru : CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). Obtenido de <https://www.ircwash.org/node/60513>
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua (Vol. 1)*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Carreño, E., & Castiblanco, C. (2016). *OPTIMIZACIÓN DEL FLOCULADOR TIPO ALABAMA EN LA PLANTA DE* . BOGOTA: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.
- Cassardo, C., & Jones, A. (2011). *Managing Water in a Changing World*. Torino - Italia: Water. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/w3020618>
- Comisión Nacional del Agua. (2012). *Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable*. Mexico - Mexico : Conagua.gob.
- Connor, N. (2019). *¿Qué es la ecuación de Darcy-Weisbach?* Maddrid - España: Thermal Engineering.
- Cruzado Suárez, G. (2015). *QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO FACTORES DECORROSIÓN DEL ACERO EMBEBIDO EN EL CONCRETOEN EL DISTRITO DE PIMENTEL*. Chiclayo - Perú: USAT.

- Díaz Castañeda, J., & Álvarez Zapata, H. (2014). *UNA PLATAFORMA EN EMSO PARA MODELAR PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN PLANTAS DE PROCESOS*. Medellín - Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Haarhoff, J., & Van der Walt, J. (2001). *Towards optimal design parameters for around-the-end hydraulic flocculators*. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua.
- Hernández Ramírez, E. (2003). *ANÁLISIS POR MEDIO DE ENSAYOS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN Y GRADIENTE HIDRÁULICO DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "LO DE COY"*. Guatemala - Guatemala: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA .
- Hutton, G., & Chase , C. (2016). *The Knowledge Base for Achieving the Sustainable* . Estados Unidos: International Journal of Environmental Research and Public Health. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/ijerph13060536>
- Machado, A., Dos Santos, J., Alves , L., & Quindeler, N. (2019). *Contributions of organizational levels in community management models of water* . Fluminense: Water. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/w11030537>
- Martínez Valdés, Y., & Alegret Breña , E. (2019). *COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS EN FUNCION DEL NUMERO DE REYNOLDS Y LA RUGOSIDAD RELATIVA*. La Habana - Cuba : Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae).
- Mejia, A. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FLOCULADOR HORIZONTAL PARA EL LABORATORIO DE HIDRAULICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS, ESPOCH*. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Melo, A., & Herrera , J. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA* . 2016: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
- Miller, M., Cronk, R., Behnke, N., & Bartram, J. (2019). *External support programs to improve rural drinking water service sustainability: A systematic review*. Carolina: Elsevier. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.069>
- Mohammed, T., & Shakir, E. (2018). *Effect of settling time, velocity gradient, and camp number on turbidity removal for oilfield produced water*. Egypt - Egypt: Elsevier.
- Núñez, M. (2015). *DEFINICIÓN DE OPCIONES DE MEJORA EN UNA PLANTA DE AGUA POTABLE*. Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Papaevangelou, G., Evangelides, C., & Tzimopoulos, C. (2010). *A NEW EXPLICIT RELATION FOR FRICTION COEFFICIENT F IN THE DARCY - WEISBACH EQUATION*. Grecia: Aristotle University of Thessaloniki.

- Prüss-Ustün, A., Bartram, J., & Clasen, T. (2014). *Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middle-income settings: a retrospective analysis of data from 145 countries*. Tropical Medicine and International Health.
- Rodriguez, W. (2021). *ELABORACIÓN DE UN DISPOSITIVO COMO SISTEMA MECÁNICO AUTOMATIZADO PARA CLARIFICACIÓN DE AGUA, CON MEZCLADOR RAPIDO DE COAGULANTES Y SEDIMENTADOR, INCLUYE CONTROL DE MEDICION DE TURBIEDAD*. GIRARDOT: UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.
- Romero Rojas, J. (1999). *POTABILIZACION DEL AGUA*. México - México: Alfaomega.
- Sanchez Merlo, Y. (2019). *MODELAMIENTO COMPUTARIZADO DE SISTEMAS DE*. Cd. México - México.
- Vargas, L. (2004). *OPERACIÓN DE PLANTAS CONVENCIONALES Y DE TECNOLOGIA APROPIADA*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Villegas, R., & Letterman, R. (1976). *Optimizing flocculator power input*. *Journal of the Environmental Engineering Division, Proceedings*. ASCE.

CAPITULO IX

9. ANEXOS

Anexo 1. Resultados WaterCad para caudal de 0.25 l/s en floculador horizontal.

- Longitud 89.4 metros, tubería de diámetro 75 milímetros.

NODO INICIAL	NODO FINAL	ACCESORIO EN EL NODO FINAL	LONGITUD (m)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	PERDIDAS TOTALES HAZEN-WILLIAMS (m)	PRESION EN EL NODO FINAL (mca)	TIEMPO TEORICO (s)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
R-1	J-1	CODO 90	6.1	58	0.0946	0.002083594	0.001785938	0.172	65	16.4
J-1	J-2	TEE LINE FLOW	0.2	58	0.0946	0.000297656	0.000159774	0.186	2	36.7
J-2	J-3	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.0946	0.000297656	0.000297656	0.196	3	28.1
J-3	J-4	EMPATE	6.1	58	0.0946	0.001785937	0.001488281	0.279	65	15.2
J-4	J-5	CODO 90	1.7	58	0.0946	0.000892969	0.000892969	0.288	18	20.3
J-5	J-6	CODO 90	1.5	58	0.0946	0.000892969	0.000595313	1.758	16	21.9
J-6	J-7	TEE LINE FLOW	1.8	58	0.0946	0.000595312	0.000595312	1.768	19	16.0
J-7	J-8	CODO 90	0.6	58	0.0946	0.000595312	0.000297656	1.792	6	27.7
J-8	J-9	CODO 90	1.1	58	0.0946	0.000595312	0.000892969	2.909	12	20.5
J-9	J-10	TEE BRANCH FLOW	1.4	58	0.0946	0.000892969	0.000892969	2.908	15	22.2
J-10	J-11	CODO 90	6.4	69.2	0.0665	0.001190625	0.000595312	2.907	96	10.2
J-11	J-12	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.567	7	19.2
J-12	J-13	TEE LINE FLOW	5.9	69.2	0.0665	0.000595312	0.000595312	2.567	89	7.5
J-13	J-14	CODO 90	0.6	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.567	9	16.2
J-14	J-15	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.566	7	19.2
J-15	J-16	CODO 90	6.5	69.2	0.0665	0.000892969	0.000595312	2.565	97	8.8

UCUENCA

J-16	J-17	TEE LINE FLOW	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.365	7	18.4
J-17	J-18	CODO 90	6.5	69.2	0.0665	0.001190625	0.000892969	2.364	97	10.1
J-18	J-19	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000180225	0.000297656	2.364	7	14.9
J-19	J-20	CODO 90	6.4	69.2	0.0665	0.001190625	0.000595313	2.363	97	10.1
J-20	J-21	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.163	7	18.4
J-21	J-22	TEE BRANCH FLOW	6.4	69.2	0.0665	0.000892969	0.000892969	2.162	96	8.8
J-22	J-23	VALVULA COMPUERTA	0.4	69.2	0.0665	0.000297656	0.00008786	2.162	6	20.1
J-23	J-24	CODO 90	0.3	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.162	4	24.8
J-24	J-25	CODO 90	6.4	69.2	0.0665	0.000892969	0.000892969	2.161	96	8.8
J-25	J-26	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000180225	1.961	7	18.4
J-26	J-27	CODO 90	6.5	69.2	0.0665	0.000892969	0.000892969	1.96	97	8.8
J-27	J-28	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	1.96	7	19.2
J-28	J-29	CODO 90	6.4	69.2	0.0665	0.000892969	0.000892969	1.959	97	8.8
J-29	J-30	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000180225	1.759	7	18.4
J-30	J-31	CODO 90	6.5	69.2	0.0665	0.000892969	0.000892969	1.758	97	8.8
J-31	J-32	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	1.758	7	19.2
J-32	J-33	CODO 90	6.4	69.2	0.0665	0.001190625	0.000595313	1.756	97	10.2
J-33	J-34	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000180225	0.000297656	1.557	7	14.3
J-34	J-35	CODO 90	6.5	69.2	0.0665	0.001190625	0.000892969	1.556	97	10.1
J-35	J-36	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	1.556	7	19.2
J-36	J-37	CODO 90	6.2	69.2	0.0665	0.000892969	0.000595313	1.553	94	8.9
J-37	J-38	VALVULA COMPUERTA	0.6	69.2	0.0665	0.00008786	0.000297656	1.553	9	9.1
J-38	J-39	TEE BRANCH FLOW	0.7	69.2	0.0665	0.000595313	0.000297656	1.552	10	22.6
J-39	J-40	CRUZ BRANCH FLOW	0.2	69.2	0.0665	0.000168961	0.000168961	1.712	2	24.2

J-40	J-41	CODO 90	0.3	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	1.711	5	23.2
J-41	J-42	EMPATE	0.3	69.2	0.0665	0.000018023	0.000018023	1.991	4	6.0
J-42	J-43	CODO 90	0.3	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.29	5	23.5
J-43	J-44	EMPATE	0.2	69.2	0.0665	0.000018023	0.000018023	2.29	3	6.8

- Longitud 65.6 metros, tubería de diámetro 110 milímetros

NODO INICIAL	NODO FINAL	ACCESORIO EN EL NODO FINAL	LONGITUD (m)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	PERDIDAS TOTALES HAZEN-WILLIAMS (m)	PRESION EN EL NODO FINAL (mca)	TIEMPO TEORICO (s)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S^-1)
R-1	J-1	CODO 90	6.1	58	0.0946	0.0020836	0.0017859	0.172	65	16.4
J-1	J-2	TEE LINE FLOW	0.2	58	0.0946	0.0002977	0.0001598	0.186	2	36.7
J-2	J-3	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.0946	0.0002977	0.0002977	0.196	3	28.1
J-3	J-4	EMPATE	6.1	58	0.0946	0.0017859	0.0014883	0.279	65	15.2
J-4	J-5	CODO 90	1.7	58	0.0946	0.0008930	0.0008930	0.288	18	20.3
J-5	J-6	CODO 90	1.5	58	0.0946	0.0008930	0.0005953	1.758	16	21.9
J-6	J-7	TEE BRANCH FLOW	1.8	58	0.0946	0.0008930	0.0008930	1.767	19	19.7
J-7	J-8	CODO 90	0.8	58	0.0946	0.0005953	0.0005953	1.616	9	24.0
J-8	J-9	CAMBIO DE DIAMETRO	0.3	58	0.0946	0.0005953	0.0002977	1.639	3	42.9
J-9	J-10	VALVULA COMPUERTA	0.3	101.6	0.0308	0.0000189	0.0000189	1.669	10	3.9
J-10	J-11	CODO 45	1.1	101.6	0.0308	0.0000097	0.0000097	1.774	36	1.5
J-11	J-12	CODO 45	0.6	101.6	0.0308	0.0000097	0.0000097	2.17	18	2.1
J-12	J-13	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.0000388	0.0002977	2.17	22	3.8
J-13	J-14	TEE LINE FLOW	0.8	101.6	0.0308	0.0000170	0.0000170	2.17	25	2.4

UCUENCA

J-14	J-15	CODO 90	6.5	101.6	0.0308	0.0002977	0.0000388	2.17	211	3.4
J-15	J-16	CODO 90	0.8	101.6	0.0308	0.0000388	0.0000388	1.92	26	3.6
J-16	J-17	TEE LINE FLOW	6.0	101.6	0.0308	0.0000170	0.0002977	1.92	196	0.9
J-17	J-18	CODO 90	0.6	101.6	0.0308	0.0000388	0.0000388	1.92	20	4.0
J-18	J-19	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.0000388	0.0000388	1.92	23	3.8
J-19	J-20	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.0002977	0.0000388	1.92	218	3.4
J-20	J-21	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.0000388	0.0002977	1.751	24	3.7
J-21	J-22	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.0002977	0.0000388	1.75	216	3.4
J-22	J-23	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.0000388	0.0000388	1.75	23	3.7
J-23	J-24	CODO 90	6.6	101.6	0.0308	0.0000388	0.0002977	1.75	214	1.2
J-24	J-25	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.0000388	0.0000388	1.551	24	3.7
J-25	J-26	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.0002977	0.0000388	1.55	216	3.4
J-26	J-27	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.0000388	0.0000388	1.55	22	3.8
J-27	J-28	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.0002977	0.0002977	1.55	216	3.4
J-28	J-29	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.0000388	0.0000388	1.35	23	3.8
J-29	J-30	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.0000388	0.0000388	1.35	216	1.2
J-30	J-31	CODO 90	0.8	101.6	0.0308	0.0000388	0.0002977	1.35	24	3.7
J-31	J-32	TEE BRANCH FLOW	6.7	101.6	0.0308	0.0002977	0.0000621	1.35	219	3.4
J-32	J-33	CODO 90	0.5	101.6	0.0308	0.0000388	0.0000388	1.568	15	4.6
J-33	J-34	CODO 90	0.3	101.6	0.0308	0.0000388	0.0000388	1.727	10	5.6
J-34	J-35	VALVULA COMPUERTA	0.3	101.6	0.0308	0.0000189	0.0002977	1.727	8	4.4
J-35	J-36	CRUZ LINE FLOW	0.3	101.6	0.0308	0.0000242	0.0000242	1.727	10	4.6
J-36	J-37	CODO 90	0.3	101.6	0.0308	0.0002977	0.0000388	1.727	10	15.7
J-37	J-38	EMPATE	0.3	101.6	0.0308	0.0000039	0.0000039	2.007	9	1.9
J-38	J-39	CODO 90	0.3	101.6	0.0308	0.0000388	0.0000388	2.306	10	5.8
J-39	J-40	EMPATE	0.2	101.6	0.0308	0.0000039	0.0000039	2.306	7	2.1

- Longitud 94.7 metros, tubería de diámetro 110 milímetros.

NODO INICIAL	NODO FINAL	ACCESORIO EN EL NODO FINAL	LONGITUD (m)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	PERDIDAS TOTALES HAZEN-WILLIAMS (m)	PRESION EN EL NODO FINAL (mca)	TIEMPO TEORICO (s)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
R-1	J-1	CODO 90	6.1	58	0.09462246	0.002083594	0.001785938	0.172	65	16.4
J-1	J-2	TEE LINE FLOW	0.2	58	0.09462246	0.000297656	0.000159774	0.186	2	36.7
J-2	J-3	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.09462246	0.000297656	0.000297656	0.196	3	28.1
J-3	J-4	EMPATE	6.1	58	0.09462246	0.001785937	0.001488281	0.279	65	15.2
J-4	J-5	CODO 90	1.7	58	0.09462246	0.000892969	0.000595313	0.288	18	20.3
J-5	J-6	CODO 90	1.5	58	0.09462246	0.000595313	0.000892969	1.759	16	17.9
J-6	J-7	TEE BRANCH FLOW	1.8	58	0.09462246	0.001190625	0.000892969	1.767	19	22.7
J-7	J-8	CODO 90	0.8	58	0.09462246	0.000595313	0.000595313	1.616	9	24.1
J-8	J-9	CAMBIO DE DIAMETRO	0.3	58	0.09462246	0.000297656	0.000297656	1.64	3	30.3
J-9	J-10	VALVULA COMPUERTA	0.3	101.6	0.03083634	0.000018908	0.000018908	1.67	10	3.9
J-10	J-11	CODO 45	1.1	101.6	0.03083634	0.000297656	0.000009696	1.774	36	8.3
J-11	J-12	CODO 45	0.6	101.6	0.03083634	0.000009696	0.000009696	2.17	18	2.1
J-12	J-13	CODO 90	0.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	2.17	22	3.8
J-13	J-14	TEE LINE FLOW	0.8	101.6	0.03083634	0.000016968	0.000016968	2.17	25	2.4
J-14	J-15	CODO 90	6.5	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000297656	2.17	211	1.2
J-15	J-16	CODO 90	0.8	101.6	0.03083634	0.000297656	0.000038785	1.92	26	9.9
J-16	J-17	TEE LINE FLOW	6.0	101.6	0.03083634	0.000016968	0.000016968	1.92	196	0.9
J-17	J-18	CODO 90	0.6	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000297656	1.92	20	4.0
J-18	J-19	CODO 90	0.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	1.92	23	3.8
J-19	J-20	CODO 90	6.7	101.6	0.03083634	0.000297656	0.000038785	1.92	217	3.4
J-20	J-21	CODO 90	0.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	1.751	24	3.7
J-21	J-22	CODO 90	6.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000297656	1.751	216	1.2

UCUENCA

J-22	J-23	CODO 90	0.7	101.6	0.03083634	0.000297656	0.000038785	1.75	23	10.3
J-23	J-24	CODO 90	6.6	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	1.75	214	1.2
J-24	J-25	CODO 90	0.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000297656	1.551	24	3.7
J-25	J-26	CODO 90	6.7	101.6	0.03083634	0.000297656	0.000038785	1.55	216	3.4
J-26	J-27	CODO 90	0.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	1.55	22	3.8
J-27	J-28	CODO 90	6.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000297656	1.55	216	1.2
J-28	J-29	CODO 90	0.7	101.6	0.03083634	0.000297656	0.000062056	1.35	23	10.5
J-29	J-30	CODO 90	6.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	1.35	216	1.2
J-30	J-31	CODO 90	0.8	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000297656	1.35	24	3.7
J-31	J-32	TEE BRANCH FLOW	6.7	101.6	0.03083634	0.000297656	0.000038785	1.35	218	3.4
J-32	J-33	CODO 90	0.4	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	1.151	14	4.8
J-33	J-34	CODO 90	6.7	101.6	0.03083634	0.000297656	0.000038785	1.151	216	3.4
J-34	J-35	CODO 90	0.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	1.151	23	3.8
J-35	J-36	CODO 90	6.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	1.151	218	1.2
J-36	J-37	CODO 90	0.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	0.951	24	3.7
J-37	J-38	CODO 90	6.7	101.6	0.03083634	0.000297656	0.000297656	0.951	217	3.4
J-38	J-39	CODO 90	0.7	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	0.951	23	3.7
J-39	J-40	CODO 90	6.3	101.6	0.03083634	0.000062056	0.000297656	0.938	206	1.6
J-40	J-41	CODO 90	0.6	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	0.938	20	4.0
J-41	J-42	TEE BRANCH FLOW	0.8	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000062056	1.726	26	3.6
J-42	J-43	CODO 90	0.3	101.6	0.03083634	0.000038785	0.000038785	1.726	10	5.7
J-43	J-44	EMPATE	0.3	101.6	0.03083633	0.000038785	0.000038785	2.006	9	6.0
J-44	J-45	CODO 90	0.3	101.6	0.03083633	0.000038785	0.000038785	2.305	10	5.8
J-45	J-46	EMPATE	0.2	101.6	0.03083633	0.000003879	0.000003879	2.305	7	2.1

- Longitud 107.8 metros, tubería de diámetro combinado entre 63 y 110 milímetros.

NODO INICIAL	NODO FINAL	ACCESORIO EN EL NODO FINAL	LONGITUD (m)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	PERDIDAS TOTALES HAZEN-WILLIAMS (m)	PRESION EN EL NODO FINAL (mca)	TIEMPO TEORICO (s)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
R-1	J-1	CODO 90	6.1	58	0.0946	0.000365197	0.001785938	0.172	65	6.9
J-1	J-2	TEE LINE FLOW	0.2	58	0.0946	0.000159774	0.000159774	0.186	2	26.9
J-2	J-3	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.0946	0.000178034	0.000297656	0.196	3	21.7
J-3	J-4	EMPATE	6.1	58	0.0946	0.001785937	0.001488281	0.279	65	15.2
J-4	J-5	CODO 90	1.7	58	0.0946	0.000365197	0.000595313	0.288	18	13.0
J-5	J-6	CODO 90	1.5	58	0.0946	0.000365197	0.000892969	1.759	16	14.0
J-6	J-7	TEE LINE FLOW	1.8	58	0.0946	0.000159774	0.000595312	1.768	19	8.3
J-7	J-8	CODO 90	0.6	58	0.0946	0.000365197	0.000297656	1.792	6	21.7
J-8	J-9	CODO 90	1.1	58	0.0946	0.000365197	0.000595312	2.909	12	16.0
J-9	J-10	TEE BRANCH FLOW	1.4	58	0.0946	0.000584316	0.000892969	2.908	15	17.9
J-10	J-11	CODO 90	6.4	69.2	0.0665	0.000180225	0.000892969	2.907	96	4.0
J-11	J-12	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000180225	0.000297656	2.568	7	14.9
J-12	J-13	TEE LINE FLOW	5.9	69.2	0.0665	0.000078848	0.000595312	2.567	89	2.7
J-13	J-14	CODO 90	0.6	69.2	0.0665	0.000180225	0.000297656	2.567	9	12.6
J-14	J-15	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000180225	0.000297656	2.566	7	14.9
J-15	J-16	CODO 90	6.5	69.2	0.0665	0.000180225	0.000595312	2.565	97	3.9
J-16	J-17	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000180225	0.000297656	2.365	7	14.3
J-17	J-18	CODO 90	6.5	69.2	0.0665	0.000180225	0.000892969	2.364	97	3.9
J-18	J-19	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000180225	0.000180225	2.364	7	14.9
J-19	J-20	CODO 90	6.4	69.2	0.0665	0.000180225	0.000892969	2.363	97	3.9

UCUENCA

J-20	J-21	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000180225	0.000297656	2.163	7	14.3
J-21	J-22	TEE LINE FLOW	6.4	69.2	0.0665	0.000078848	0.000595312	2.162	96	2.6
J-22	J-23	CODO 90	0.3	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	2.162	8	6.2
J-23	J-24	VALVULA COMPUERTA	0.4	101.6	0.0308	0.000018908	0.000018908	2.162	11	3.7
J-24	J-25	TEE BRANCH FLOW	0.5	101.6	0.0308	0.000062056	0.000297656	2.162	16	5.8
J-25	J-26	CODO 90	6.5	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	2.162	211	1.2
J-26	J-27	CODO 90	0.8	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.912	26	3.6
J-27	J-28	TEE LINE FLOW	6.0	101.6	0.0308	0.000016968	0.000297656	1.912	196	0.9
J-28	J-29	CODO 90	0.6	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.912	20	4.0
J-29	J-30	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.912	23	3.8
J-30	J-31	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.912	218	1.2
J-31	J-32	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.743	24	3.7
J-32	J-33	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000297656	1.742	216	1.2
J-33	J-34	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.742	23	3.7
J-34	J-35	CODO 90	6.6	101.6	0.0308	0.000038785	0.000297656	1.742	214	1.2
J-35	J-36	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.543	24	3.7
J-36	J-37	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.542	216	1.2
J-37	J-38	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.542	22	3.8
J-38	J-39	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000297656	1.542	216	1.2
J-39	J-40	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.342	23	3.8
J-40	J-41	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.342	216	1.2
J-41	J-42	CODO 90	0.8	101.6	0.0308	0.000038785	0.000297656	1.342	24	3.7
J-42	J-43	TEE BRANCH FLOW	6.7	101.6	0.0308	0.000062056	0.000062056	1.342	219	1.5
J-43	J-44	CODO 90	0.5	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.56	15	4.6
J-44	J-45	CODO 90	0.3	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.719	10	5.6

UCUENCA

J-45	J-46	VALVULA COMPUERTA	0.3	101.6	0.0308	0.000018908	0.000297656	1.719	8	4.4
J-46	J-47	CRUZ LINE FLOW	0.3	101.6	0.0308	0.000024241	0.000024241	1.719	10	4.6
J-47	J-48	CODO 90	0.3	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.719	10	5.7
J-48	J-49	EMPATE	0.3	101.6	0.0308	0.000003879	0.000003879	1.999	9	1.9
J-49	J-50	CODO 90	0.3	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	2.298	10	5.8
J-50	J-51	EMPATE	0.2	101.6	0.0308	0.000003879	0.000003879	2.298	7	2.1

- Longitud 136.8 metros, tubería de diámetro combinado entre 63 y 110 milímetros.

NODO INICIAL	NODO FINAL	ACCESORIO EN EL NODO FINAL	LONGITUD (m)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	PERDIDAS TOTALES HAZEN-WILLIAMS (m)	PRESION EN EL NODO FINAL (mca)	TIEMPO TEORICO (s)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
R-1	J-1	CODO 90	6.1	58	0.0946	0.002083594	0.001785938	0.172	65	16.4
J-1	J-2	TEE LINE FLOW	0.2	58	0.0946	0.000297656	0.000159774	0.186	2	36.7
J-2	J-3	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.0946	0.000297656	0.000297656	0.196	3	28.1
J-3	J-4	EMPATE	6.1	58	0.0946	0.001785937	0.001488281	0.279	65	15.2
J-4	J-5	CODO 90	1.7	58	0.0946	0.000892969	0.000892969	0.288	18	20.3
J-5	J-6	CODO 90	1.5	58	0.0946	0.000892969	0.000595313	1.758	16	21.9
J-6	J-7	TEE LINE FLOW	1.8	58	0.0946	0.000595312	0.000595312	1.768	19	16.0
J-7	J-8	CODO 90	0.6	58	0.0946	0.000595312	0.000297656	1.792	6	27.7
J-8	J-9	CODO 90	1.1	58	0.0946	0.000595312	0.000892969	2.909	12	20.5
J-9	J-10	TEE BRANCH FLOW	1.4	58	0.0946	0.000892969	0.000892969	2.908	15	22.2
J-10	J-11	CODO 90	6.4	69.2	0.0665	0.001190625	0.000595312	2.907	96	10.2

UCUENCA

J-11	J-12	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.567	7	19.2
J-12	J-13	TEE LINE FLOW	5.9	69.2	0.0665	0.000595312	0.000595312	2.567	89	7.5
J-13	J-14	CODO 90	0.6	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.567	9	16.2
J-14	J-15	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.566	7	19.2
J-15	J-16	CODO 90	6.5	69.2	0.0665	0.000892969	0.000595312	2.565	97	8.8
J-16	J-17	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.365	7	18.4
J-17	J-18	CODO 90	6.5	69.2	0.0665	0.001190625	0.000892969	2.364	97	10.1
J-18	J-19	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000180225	0.000297656	2.364	7	14.9
J-19	J-20	CODO 90	6.4	69.2	0.0665	0.001190625	0.000595313	2.363	97	10.1
J-20	J-21	CODO 90	0.5	69.2	0.0665	0.000297656	0.000297656	2.163	7	18.4
J-21	J-22	TEE LINE FLOW	6.4	69.2	0.0665	0.000892969	0.000595312	2.162	96	8.8
J-22	J-23	CODO 90	0.3	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	2.162	8	6.2
J-23	J-24	VALVULA COMPUERTA	0.4	101.6	0.0308	0.000018908	0.000018908	2.162	11	3.7
J-24	J-25	TEE BRANCH FLOW	0.5	101.6	0.0308	0.000062056	0.000297656	2.162	16	5.8
J-25	J-26	CODO 90	6.5	101.6	0.0308	0.000297656	0.000038785	2.162	211	3.4
J-26	J-27	CODO 90	0.8	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.912	26	3.6
J-27	J-28	TEE LINE FLOW	6.0	101.6	0.0308	0.000016968	0.000297656	1.912	196	0.9
J-28	J-29	CODO 90	0.6	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.912	20	4.0
J-29	J-30	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.912	23	3.8
J-30	J-31	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000297656	0.000038785	1.912	218	3.4
J-31	J-32	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000297656	1.743	24	3.7
J-32	J-33	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000297656	0.000038785	1.742	216	3.4
J-33	J-34	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.742	23	3.7
J-34	J-35	CODO 90	6.6	101.6	0.0308	0.000038785	0.000297656	1.742	214	1.2
J-35	J-36	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.543	24	3.7
J-36	J-37	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000297656	0.000038785	1.542	216	3.4
J-37	J-38	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.542	22	3.8

UCUENCA

J-38	J-39	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000297656	0.000297656	1.542	216	3.4
J-39	J-40	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.342	23	3.8
J-40	J-41	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000297656	1.342	216	1.2
J-41	J-42	CODO 90	0.8	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.342	24	3.7
J-42	J-43	TEE BRANCH FLOW	6.7	101.6	0.0308	0.000297656	0.000038785	1.342	219	3.4
J-43	J-44	CODO 90	0.4	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.143	14	4.8
J-44	J-45	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000297656	0.000297656	1.142	216	3.4
J-45	J-46	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.142	23	3.8
J-46	J-47	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000297656	1.142	219	1.2
J-47	J-48	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000297656	0.000038785	0.943	24	10.1
J-48	J-49	CODO 90	6.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	0.943	217	1.2
J-49	J-50	CODO 90	0.7	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	0.943	23	3.7
J-50	J-51	CODO 90	6.3	101.6	0.0308	0.000297656	0.000297656	0.93	206	3.5
J-51	J-52	CODO 90	0.6	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	0.93	20	4.0
J-52	J-53	CRUZ BRANCH FLOW	0.8	101.6	0.0308	0.000036361	0.000036361	1.718	26	3.4
J-53	J-54	CODO 90	0.3	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	1.718	10	5.7
J-54	J-55	EMPATE	0.3	101.6	0.0308	0.000003879	0.000003879	1.998	9	1.9
J-55	J-56	CODO 90	0.3	101.6	0.0308	0.000038785	0.000038785	2.297	10	5.8
J-56	J-57	EMPATE	0.2	101.6	0.0308	0.000003879	0.000003879	2.297	7	2.1

Anexo 2. Resultados WaterCad para caudal de 0.25 l/s en floculador vertical.

- Longitud 91.4 metros, tubería de diámetro 63 milímetros.

NODO INICIAL	NODO FINAL	ACCESORIO EN EL NODO FINAL	LONGITUD (m)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	PERDIDAS TOTALES HAZEN-WILLIAMS (m)	PRESION EN EL NODO FINAL (mca)	TIEMPO TEORICO (s)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
R-1	J-1	CODO 90	6.2	58	0.095	0.002083594	0.001785937	0.242	65	16.4
J-1	J-2	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.236	3	29.7
J-2	J-3	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.095	0.000297656	0.001190625	0.234	3	30.5
J-3	J-4	EMPATE	5.1	58	0.095	0.001488281	0.001190625	0.312	53	15.3
J-4	J-5	CODO 45	1.7	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.278	17	16.9
J-5	J-6	TEE BRANCH FLOW	9.2	58	0.095	0.003274219	0.002678906	0.562	97	16.8
J-6	J-7	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.754	34	17.2
J-7	J-8	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.754	6	28.1
J-8	J-10	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.559	34	17.2
J-10	J-11	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000159774	0.559	3	27.2
J-11	J-12	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.558	3	39.7
J-12	J-13	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.75	34	17.2
J-13	J-14	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.75	6	28.1
J-14	J-15	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.555	34	17.2
J-15	J-16	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.555	3	27.2
J-16	J-17	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.554	3	39.7
J-17	J-18	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.746	34	17.2
J-18	J-19	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595313	0.000297656	3.746	6	28.1

UCUENCA

J-19	J-20	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.551	34	17.2
J-20	J-21	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.551	3	27.2
J-21	J-22	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.55	3	39.7
J-22	J-23	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.743	34	17.2
J-23	J-24	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000297656	3.742	6	28.1
J-24	J-25	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.547	34	17.2
J-25	J-26	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.547	3	27.2
J-26	J-27	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.547	3	39.7
J-27	J-28	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.739	34	17.2
J-28	J-29	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.738	6	28.1
J-29	J-30	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	0.544	34	17.2
J-30	J-31	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.543	3	27.2
J-31	J-32	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.543	3	39.7
J-32	J-33	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.735	34	17.2
J-33	J-34	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595313	0.000595313	3.734	6	28.1
J-34	J-35	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	0.54	34	17.2
J-35	J-36	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.539	3	27.2
J-36	J-37	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.539	3	39.7
J-37	J-38	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.731	34	17.2
J-38	J-39	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.73	6	28.1
J-39	J-40	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.536	34	17.2
J-40	J-41	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000038785	0.536	3	27.2
J-41	J-42	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.535	3	39.7
J-42	J-44	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.727	34	17.2
J-44	J-45	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595313	0.000595313	3.727	6	28.1
J-45	J-46	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.532	34	17.2
J-46	J-47	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.532	3	27.2
J-47	J-48	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.531	3	28.1

UCUENCA

J-48	J-49	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.001190625	3.723	34	19.2
J-49	J-50	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000297656	3.723	6	28.1
J-50	J-51	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.528	34	17.2
J-51	J-52	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.528	3	27.2
J-52	J-53	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.528	3	28.1
J-53	J-56	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.001190625	3.719	34	19.2
J-56	J-57	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000297656	3.719	6	28.1
J-57	J-58	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.524	34	17.2
J-58	J-59	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.524	3	27.2
J-59	J-60	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.524	3	28.1
J-60	J-61	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.001190625	3.716	34	19.2
J-61	J-62	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.715	6	28.1
J-62	J-63	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	0.52	34	17.2
J-63	J-64	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.52	3	27.2
J-64	J-65	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000595313	0.52	3	28.1
J-65	J-66	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.000892969	3.712	34	19.2
J-66	J-67	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000297656	0.000595312	3.711	6	19.9
J-67	J-68	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.000892969	0.517	34	19.2
J-68	J-69	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.516	3	27.2
J-69	J-70	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000595313	0.516	3	28.1
J-70	J-71	TEE BRANCH FLOW	1.8	58	0.095	0.001190625	0.000892969	2.351	19	22.7
J-71	J-85	VALVULA COMPUERTA	0.2	58	0.095	0.000297656	0.000297656	2.351	2	32.1
J-85	J-86	CODO 90	0.2	58	0.095	0.000297656	0.000297656	2.35	2	32.8
J-86	J-87	CODO 90	0.9	58	0.095	0.000595312	0.000595312	2.35	9	23.5
J-87	J-88	TEE BRANCH FLOW	3.4	58	0.095	0.001785938	0.001488281	3.157	36	20.5
J-88	J-89	CODO 90	0.5	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	2.657	16	4.5

J-89	J-90	CODO 90	1.0	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	2.657	32	3.2
J-90	J-91	CODO 90	1.6	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	2.657	52	2.5
J-91	J-92	EMPATE	0.3	101.6	0.031	0.000016968	0.000016968	2.657	9	4.0

- Longitud 56.3 metros, tubería de diámetro 110 milímetros.

NODO INICIAL	NODO FINAL	ACCESORIO EN EL NODO FINAL	LONGITUD (m)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	PERDIDAS TOTALES HAZEN-WILLIAMS (m)	PRESION EN EL NODO FINAL (mca)	TIEMPO TEORICO (s)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
R-1	J-1	CODO 90	6.2	58	0.095	0.002083594	0.001785937	0.242	65	16.4
J-1	J-2	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.236	3	29.7
J-2	J-3	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000178034	0.234	3	30.5
J-3	J-4	EMPATE	5.1	58	0.095	0.001488281	0.001190625	0.312	53	15.3
J-4	J-5	CODO 45	1.7	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.278	17	16.9
J-5	J-85	TEE BRANCH FLOW	9.2	58	0.095	0.003274219	0.002678906	0.382	97	16.9
J-85	J-86	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000178034	0.382	3	28.1
J-86	J-87	CODO 90	1.6	58	0.095	0.000892969	0.000892969	0.381	17	20.8
J-87	J-88	TEE BRANCH FLOW	0.2	58	0.095	0.000595312	0.000595312	0.56	2	51.3
J-88	J-89	CAMBIO DE DIAMETRO	0.2	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.56	2	34.3
J-89	J-90	CODO 90	0.3	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.56	8	6.2
J-90	J-91	CODO 90	3.2	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.753	103	1.8

UCUENCA

J-91	J-92	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.753	19	11.3
J-92	J-93	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	99	1.8
J-93	J-94	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	23	3.8
J-94	J-95	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.753	99	1.8
J-95	J-96	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.753	19	11.4
J-96	J-97	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	99	1.8
J-97	J-98	TEE LINE FLOW	0.2	101.6	0.031	0.000016968	0.000016968	0.679	6	4.7
J-98	J-99	CODO 90	0.5	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	16	4.5
J-99	J-100	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.753	99	1.8
J-100	J-101	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.752	19	11.4
J-101	J-102	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	99	1.8
J-102	J-103	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	23	3.8
J-103	J-104	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.752	99	1.8
J-104	J-105	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.752	19	11.4
J-105	J-106	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	99	1.8
J-106	J-107	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	23	3.8
J-107	J-108	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.752	99	1.8
J-108	J-109	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.752	19	11.4
J-109	J-110	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	99	1.8
J-110	J-111	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	23	3.8
J-111	J-112	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.752	99	1.8
J-112	J-113	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.752	19	11.4
J-113	J-114	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	99	1.8

UCUENCA

J-114	J-115	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	23	3.8
J-115	J-116	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.752	99	1.8
J-116	J-117	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.751	19	11.4
J-117	J-118	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	99	1.8
J-118	J-119	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	23	3.8
J-119	J-120	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.751	99	1.8
J-120	J-121	TEE LINE FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000016968	3.751	19	11.4

- Longitud 78 metros, tubería de diámetro 110 milímetros.

NODO INICIAL	NODO FINAL	ACCESORIO EN EL NODO FINAL	LONGITUD (m)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	PERDIDAS TOTALES HAZEN-WILLIAMS (m)	PRESION EN EL NODO FINAL (mca)	TIEMPO TEORICO (s)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
R-1	J-1	CODO 90	6.2	58	0.095	0.002083594	0.001785937	0.242	65	16.4
J-1	J-2	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.236	3	29.7
J-2	J-3	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000178034	0.234	3	30.5
J-3	J-4	EMPATE	5.1	58	0.095	0.001488281	0.001190625	0.312	53	15.3
J-4	J-5	CODO 45	1.7	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.278	17	16.9
J-5	J-85	TEE BRANCH FLOW	9.2	58	0.095	0.003274219	0.002678906	0.382	97	16.9
J-85	J-86	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000178034	0.382	3	28.1
J-86	J-87	CODO 90	1.6	58	0.095	0.000892969	0.000892969	0.381	17	20.8
J-87	J-88	TEE BRANCH FLOW	0.2	58	0.095	0.000595312	0.000595312	0.56	2	51.3

UCUENCA

J-88	J-89	CAMBIO DE DIAMETRO	0.2	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.56	2	34.3
J-89	J-90	CODO 90	0.3	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.56	8	6.2
J-90	J-91	CODO 90	3.2	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.753	103	1.8
J-91	J-92	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.753	19	11.3
J-92	J-93	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	99	1.8
J-93	J-94	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	23	3.8
J-94	J-95	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.753	99	1.8
J-95	J-96	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.753	19	11.4
J-96	J-97	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	99	1.8
J-97	J-98	TEE LINE FLOW	0.2	101.6	0.031	0.000016968	0.000016968	0.679	6	4.7
J-98	J-99	CODO 90	0.5	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	16	4.5
J-99	J-100	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.753	99	1.8
J-100	J-101	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.752	19	11.4
J-101	J-102	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	99	1.8
J-102	J-103	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.679	23	3.8
J-103	J-104	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.752	99	1.8
J-104	J-105	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.752	19	11.4
J-105	J-106	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	99	1.8
J-106	J-107	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	23	3.8
J-107	J-108	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.752	99	1.8
J-108	J-109	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.752	19	11.4
J-109	J-110	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	99	1.8
J-110	J-111	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	23	3.8

UCUENCA

J-111	J-112	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.752	99	1.8
J-112	J-113	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.752	19	11.4
J-113	J-114	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	99	1.8
J-114	J-115	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	23	3.8
J-115	J-116	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.752	99	1.8
J-116	J-117	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.751	19	11.4
J-117	J-118	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	99	1.8
J-118	J-119	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.678	23	3.8
J-119	J-120	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.751	99	1.8
J-120	J-121	TEE LINE FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000297656	3.751	19	11.4
J-121	J-122	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.677	99	1.8
J-122	J-123	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.677	23	3.8
J-123	J-124	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.751	99	1.8
J-124	J-125	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.751	19	11.4
J-125	J-126	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.677	99	1.8
J-126	J-127	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.677	23	3.8
J-127	J-128	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.751	99	1.8
J-128	J-129	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.75	19	11.4
J-129	J-130	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.677	99	1.8
J-130	J-131	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.677	23	3.8
J-131	J-132	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.75	99	1.8
J-132	J-133	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000062056	3.75	19	11.4
J-133	J-134	TEE LINE FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000016968	0.000016968	3.201	18	2.8

J-134	J-135	CODO 90	0.5	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	2.702	16	4.5
J-135	J-136	CODO 90	1.0	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	2.702	32	3.2
J-136	J-137	CODO 90	1.6	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	2.702	52	2.5
J-137	J-138	EMPATE	0.3	101.6	0.031	0.000016968	0.000016968	2.702	9	4.0

- Longitud 154.9 metros, tubería de diámetro 63 y 110 milímetros.

NODO INICIAL	NODO FINAL	ACCESORIO EN EL NODO FINAL	LONGITUD (m)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	PERDIDAS TOTALES HAZEN-WILLIAMS (m)	PRESION EN EL NODO FINAL (mca)	TIEMPO TEORICO (s)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
R-1	J-1	CODO 90	6.2	58	0.095	0.002083594	0.001785937	0.242	65	16.4
J-1	J-2	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.236	3	29.7
J-2	J-3	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000178034	0.234	3	30.5
J-3	J-4	EMPATE	5.1	58	0.095	0.001488281	0.001190625	0.312	53	15.3
J-4	J-5	CODO 45	1.7	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.278	17	16.9
J-5	J-6	TEE BRANCH FLOW	9.2	58	0.095	0.003274219	0.002678906	0.562	97	16.8
J-6	J-7	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.754	34	17.2
J-7	J-8	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.754	6	28.1
J-8	J-10	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.559	34	17.2
J-10	J-11	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000159774	0.559	3	27.2
J-11	J-12	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.558	3	39.7
J-12	J-13	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.75	34	17.2

UCUENCA

J-13	J-14	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.75	6	28.1
J-14	J-15	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.555	34	17.2
J-15	J-16	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.555	3	27.2
J-16	J-17	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.554	3	39.7
J-17	J-18	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.746	34	17.2
J-18	J-19	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595313	0.000297656	3.746	6	28.1
J-19	J-20	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.551	34	17.2
J-20	J-21	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.551	3	27.2
J-21	J-22	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.55	3	39.7
J-22	J-23	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.743	34	17.2
J-23	J-24	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000297656	3.742	6	28.1
J-24	J-25	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.547	34	17.2
J-25	J-26	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.547	3	27.2
J-26	J-27	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.547	3	39.7
J-27	J-28	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.739	34	17.2
J-28	J-29	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.738	6	28.1
J-29	J-30	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	0.544	34	17.2
J-30	J-31	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.543	3	27.2
J-31	J-32	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.543	3	39.7
J-32	J-33	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.735	34	17.2
J-33	J-34	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595313	0.000595313	3.734	6	28.1
J-34	J-35	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	0.54	34	17.2
J-35	J-36	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.539	3	27.2
J-36	J-37	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.539	3	39.7

UCUENCA

J-37	J-38	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.731	34	17.2
J-38	J-39	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.73	6	28.1
J-39	J-40	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.536	34	17.2
J-40	J-41	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000159774	0.536	3	27.2
J-41	J-42	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.535	3	39.7
J-42	J-44	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.727	34	17.2
J-44	J-45	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595313	0.000595313	3.727	6	28.1
J-45	J-46	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.532	34	17.2
J-46	J-47	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.532	3	27.2
J-47	J-48	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.531	3	28.1
J-48	J-49	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.001190625	3.723	34	19.2
J-49	J-50	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000297656	3.723	6	28.1
J-50	J-51	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.528	34	17.2
J-51	J-52	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.528	3	27.2
J-52	J-53	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.528	3	28.1
J-53	J-56	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.001190625	3.719	34	19.2
J-56	J-57	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000297656	3.719	6	28.1
J-57	J-58	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.524	34	17.2
J-58	J-59	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.524	3	27.2
J-59	J-60	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.524	3	28.1
J-60	J-61	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.001190625	3.716	34	19.2
J-61	J-62	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.715	6	28.1
J-62	J-63	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	0.52	34	17.2
J-63	J-64	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.52	3	27.2

UCUENCA

J-64	J-65	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000595313	0.52	3	28.1
J-65	J-66	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.000892969	3.712	34	19.2
J-66	J-67	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000297656	0.000595312	3.711	6	19.9
J-67	J-68	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.000892969	0.517	34	19.2
J-68	J-69	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.516	3	27.2
J-69	J-70	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000595313	0.516	3	28.1
J-70	J-71	TEE LINE FLOW	1.8	58	0.095	0.000892969	0.000595312	2.351	19	19.6
J-71	J-72	VALVULA COMPUERTA	0.2	58	0.095	0.000178034	0.000178034	2.561	2	26.0
J-72	J-73	CODO 90	1.2	58	0.095	0.000892969	0.000595312	3.708	12	24.8
J-73	J-74	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595313	0.000595313	3.707	6	28.1
J-74	J-76	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.512	34	17.2
J-76	J-77	CAMBIO DE DIAMETRO	0.2	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.512	2	34.3
J-77	J-78	CODO 90	0.3	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.512	8	6.2
J-78	J-79	CODO 90	3.2	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.705	103	1.8
J-79	J-80	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000062056	3.705	19	11.3
J-80	J-81	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.632	99	1.8
J-81	J-82	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.632	23	3.8
J-82	J-84	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.705	99	1.8
J-84	J-85	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000062056	3.705	19	11.4
J-85	J-86	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.631	99	1.8
J-86	J-87	TEE LINE FLOW	0.2	101.6	0.031	0.000016968	0.000016968	0.631	6	4.7
J-87	J-88	CODO 90	0.5	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.631	16	4.5
J-88	J-90	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.705	99	5.0

UCUENCA

J-90	J-91	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000062056	0.000062056	3.705	19	5.2
J-91	J-92	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.631	99	1.8
J-92	J-93	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.631	23	3.8
J-93	J-94	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.704	99	5.0
J-94	J-95	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000062056	0.000062056	3.704	19	5.2
J-95	J-96	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.631	99	1.8
J-96	J-97	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.631	23	3.8
J-97	J-98	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.704	99	5.0
J-98	J-99	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000062056	0.000062056	3.704	19	5.2
J-99	J-100	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.63	99	1.8
J-100	J-101	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.63	23	3.8
J-101	J-102	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.704	99	5.0
J-102	J-103	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000062056	0.000062056	3.704	19	5.2
J-103	J-104	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.63	99	1.8
J-104	J-105	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.63	23	3.8
J-105	J-106	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.703	99	5.0
J-106	J-107	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000062056	0.000062056	3.703	19	5.2
J-107	J-108	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.63	99	1.8
J-108	J-109	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.63	23	3.8
J-109	J-110	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.703	99	5.0
J-110	J-111	TEE LINE FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000016968	0.000016968	3.703	19	2.7

- Longitud 176.7 metros, tubería de diámetro 63 y 110 milímetros.

NODO INICIAL	NODO FINAL	ACCESORIO EN EL NODO FINAL	LONGITUD (m)	DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	PERDIDAS TOTALES HAZEN-WILLIAMS (m)	PRESION EN EL NODO FINAL (mca)	TIEMPO TEORICO (s)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (S ⁻¹)
R-1	J-1	CODO 90	6.2	58	0.095	0.002083594	0.001785937	0.242	65	16.4
J-1	J-2	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.236	3	29.7
J-2	J-3	VALVULA COMPUERTA	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000178034	0.234	3	30.5
J-3	J-4	EMPATE	5.1	58	0.095	0.001488281	0.001190625	0.312	53	15.3
J-4	J-5	CODO 45	1.7	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.278	17	16.9
J-5	J-6	TEE BRANCH FLOW	9.2	58	0.095	0.003274219	0.002678906	0.562	97	16.8
J-6	J-7	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.754	34	17.2
J-7	J-8	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.754	6	28.1
J-8	J-10	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.559	34	17.2
J-10	J-11	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000159774	0.559	3	27.2
J-11	J-12	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.558	3	39.7
J-12	J-13	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.75	34	17.2
J-13	J-14	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.75	6	28.1
J-14	J-15	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.555	34	17.2
J-15	J-16	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.555	3	27.2
J-16	J-17	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.554	3	39.7
J-17	J-18	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.746	34	17.2
J-18	J-19	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595313	0.000297656	3.746	6	28.1

UCUENCA

J-19	J-20	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.551	34	17.2
J-20	J-21	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.551	3	27.2
J-21	J-22	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.55	3	39.7
J-22	J-23	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.743	34	17.2
J-23	J-24	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000297656	3.742	6	28.1
J-24	J-25	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.547	34	17.2
J-25	J-26	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.547	3	27.2
J-26	J-27	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.547	3	39.7
J-27	J-28	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.739	34	17.2
J-28	J-29	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.738	6	28.1
J-29	J-30	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	0.544	34	17.2
J-30	J-31	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.543	3	27.2
J-31	J-32	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000297656	0.543	3	39.7
J-32	J-33	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	3.735	34	17.2
J-33	J-34	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595313	0.000595313	3.734	6	28.1
J-34	J-35	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	0.54	34	17.2
J-35	J-36	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.539	3	27.2
J-36	J-37	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.539	3	39.7
J-37	J-38	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.731	34	17.2
J-38	J-39	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.73	6	28.1
J-39	J-40	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.536	34	17.2
J-40	J-41	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000159774	0.536	3	27.2
J-41	J-42	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000595313	0.000595313	0.535	3	39.7
J-42	J-44	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	3.727	34	17.2
J-44	J-45	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595313	0.000595313	3.727	6	28.1
J-45	J-46	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.532	34	17.2
J-46	J-47	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.532	3	27.2
J-47	J-48	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.531	3	28.1

UCUENCA

J-48	J-49	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.001190625	3.723	34	19.2
J-49	J-50	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000297656	3.723	6	28.1
J-50	J-51	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.528	34	17.2
J-51	J-52	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.528	3	27.2
J-52	J-53	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.528	3	28.1
J-53	J-56	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.001190625	3.719	34	19.2
J-56	J-57	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000297656	3.719	6	28.1
J-57	J-58	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.524	34	17.2
J-58	J-59	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.524	3	27.2
J-59	J-60	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.524	3	28.1
J-60	J-61	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.001190625	3.716	34	19.2
J-61	J-62	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595312	0.000595312	3.715	6	28.1
J-62	J-63	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.000892969	0.52	34	17.2
J-63	J-64	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.52	3	27.2
J-64	J-65	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000595313	0.52	3	28.1
J-65	J-66	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.000892969	3.712	34	19.2
J-66	J-67	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000297656	0.000595312	3.711	6	19.9
J-67	J-68	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001488281	0.000892969	0.517	34	19.2
J-68	J-69	TEE LINE FLOW	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.516	3	27.2
J-69	J-70	CODO 90	0.3	58	0.095	0.000297656	0.000595313	0.516	3	28.1
J-70	J-71	TEE LINE FLOW	1.8	58	0.095	0.000892969	0.000595312	2.351	19	19.6
J-71	J-72	VALVULA COMPUERTA	0.2	58	0.095	0.000178034	0.000178034	2.561	2	26.0
J-72	J-73	CODO 90	1.2	58	0.095	0.000892969	0.000595312	3.708	12	24.8
J-73	J-74	CODO 90	0.6	58	0.095	0.000595313	0.000595313	3.707	6	28.1
J-74	J-76	CODO 90	3.2	58	0.095	0.001190625	0.001190625	0.512	34	17.2
J-76	J-77	CAMBIO DE DIAMETRO	0.2	58	0.095	0.000297656	0.000297656	0.512	2	34.3
J-77	J-78	CODO 90	0.3	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.512	8	6.2

UCUENCA

J-78	J-79	CODO 90	3.2	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.705	103	1.8
J-79	J-80	CODO 90	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.705	19	11.3
J-80	J-81	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.632	99	1.8
J-81	J-82	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.632	23	3.8
J-82	J-84	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.705	99	1.8
J-84	J-85	CODO 90	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.705	19	11.4
J-85	J-86	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.631	99	1.8
J-86	J-87	TEE LINE FLOW	0.2	101.6	0.031	0.000016968	0.000016968	0.631	6	4.7
J-87	J-88	CODO 90	0.5	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.631	16	4.5
J-88	J-90	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.705	99	1.8
J-90	J-91	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000062056	3.705	19	11.4
J-91	J-92	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.631	99	1.8
J-92	J-93	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.631	23	3.8
J-93	J-94	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.705	99	1.8
J-94	J-95	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000062056	3.704	19	11.4
J-95	J-96	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.631	99	1.8
J-96	J-97	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.631	23	3.8
J-97	J-98	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.704	99	1.8
J-98	J-99	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000062056	3.704	19	11.4
J-99	J-100	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.63	99	1.8
J-100	J-101	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.63	23	3.8
J-101	J-102	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000062056	3.704	99	1.8
J-102	J-103	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.704	19	11.4
J-103	J-104	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000178034	0.63	99	1.8
J-104	J-105	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.63	23	3.8

UCUENCA

J-105	J-106	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.704	99	1.8
J-106	J-107	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000062056	3.703	19	11.4
J-107	J-108	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.63	99	1.8
J-108	J-109	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.63	23	3.8
J-109	J-110	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.703	99	1.8
J-110	J-111	TEE LINE FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000062056	3.703	19	11.4
J-111	J-114	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.629	99	1.8
J-114	J-115	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.629	23	3.8
J-115	J-116	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.703	99	1.8
J-116	J-117	TEE LINE FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000062056	3.703	19	11.4
J-117	J-118	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.629	99	1.8
J-118	J-119	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.629	23	3.8
J-119	J-120	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	3.703	99	1.8
J-120	J-121	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000297656	0.000062056	3.703	19	11.4
J-121	J-122	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	0.629	99	1.8
J-122	J-123	CODO 90	0.7	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	0.629	23	3.8
J-123	J-124	CODO 90	3.1	101.6	0.031	0.000297656	0.000038785	3.702	99	5.0
J-124	J-125	TEE BRANCH FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000062056	0.000062056	3.702	19	5.2
J-125	J-126	TEE LINE FLOW	0.6	101.6	0.031	0.000016968	0.000016968	3.154	18	2.8
J-126	J-127	CODO 90	0.5	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	2.654	16	4.5
J-127	J-128	CODO 90	1.0	101.6	0.031	0.000038785	0.000038785	2.654	32	3.2
J-128	J-129	CODO 90	1.6	101.6	0.031	0.000038785	0.000297656	2.654	52	2.5
J-129	J-130	EMPATE	0.3	101.6	0.031	0.000016968	0.000016968	2.654	9	4.0

Anexo 3. Vínculos de las tablas de anexos de cada caudal ensayado en WaterCad.

Presione Ctrl+clic sobre el caudal que desea visualizar los anexos.

CAUDAL_0.25L/S

CAUDAL_0.5L/S

CAUDAL_0.75L/S

CAUDAL_1L/S

CAUDAL_2L/S

Anexo 4. Cálculo de sugerencias para el modelo optimo.

- Nuevo diámetro par tubería horizontal caudal de 0.25 l/s,

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (l/s)	0.25
Diámetro nominal (mm)	75
Velocidad mínima (m/s)	10

$$A = Q * V$$

$$Q = 0.25 \frac{l}{s} = 0.00025 \frac{m^3}{s}$$

$$A = 0.00025 * 10 = 0.0025 m^2$$

$$A = \pi * \frac{\phi^2}{4}$$

$$0.0025 = \pi * \frac{\phi^2}{4}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 0.0025}{\pi}} = 0.056m = 56.4 mm$$

El diámetro nominal más cercano al calculado es el de 58 mm correspondiente a la tubería de 63mm externo, el cual se escogerá para esta nueva tubería.

- Nueva longitud para tubería horizontal de 63mm de diámetro.

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (l/s)	0.5
Diámetro nominal (mm)	63
Tiempo mínimo de floculación (min)	10

$$Q = V * A$$

$$A = \pi * \frac{\phi^2}{4}$$

Se debe calcular con el diámetro nominal, el cual para tubería PVC es el interno, el diámetro que se usa es de 58mm.

$$A = \pi * \frac{58^2}{4}$$

$$A = 2642.1 \text{ mm}^2 = 0.002642 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$Q = 0.5 \frac{l}{s} = 0.0005 \frac{m^3}{s}$$

$$V = \frac{0.0005}{0.002642} = \frac{0.19m}{s} = \frac{11.28m}{min}$$

$$d = V * t$$

$$d = 11.28 * 10 = 112.8m$$

Dado que actualmente se encuentran construidos 91.4 m únicamente se necesitaría añadir

$$d = 112.8 - 91.4 = 21.4 \text{ m}$$

- **Nueva longitud para tubería vertical.**

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (l/s)	2
Diámetro nominal (mm)	110
Tiempo mínimo de floculación (min)	10

$$Q = V * A$$

$$A = \pi * \frac{\phi^2}{4}$$

Se debe calcular con el diámetro nominal, el cual para tubería PVC es el interno, el diámetro que se usa es de 101.6mm.

$$A = \pi * \frac{101.6^2}{4}$$

$$A = 8107.32 \text{ mm}^2 = 0.008107 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$Q = 2 \frac{l}{s} = 0.002 \frac{m^3}{s}$$

$$V = \frac{0.002}{0.008107} = \frac{0.25m}{s} = \frac{14.7 m}{min}$$

$$d = V * t$$

$$d = 14.7 * 10 = 147.2 m$$

Dado que actualmente se encuentran contruidos 78 m únicamente se necesitaría añadir

$$d = 147.2 - 78 = 69.2 m$$

Todos los cambios a realizar se resumen a continuación.

- Cambios en el floculador tubular horizontal.**

CAUDAL	DIAMETRO	LONGITUD ACTUAL	LONGITUD DE ADICION	LONGITUD MINIMA
2 l/s	110 mm	94.7 m	53.3 m	148.0 m
CAUDAL	DIAMETRO ACTUAL	DIAMETRO NUEVO	LONGITUD NUEVA TUBERIA	
0.25 l/s	75 mm	63 mm	70 m	

- Cambios en el floculador tubular vertical.**

CAUDAL	DIAMETRO	LONGITUD ACTUAL	LONGITUD DE ADICION	LONGITUD MINIMA
0.5 l/s	63 mm	91.4 m	21.4 m	112.8 m
2 l/s	110 mm	78.0 m	69.2 m	147.2 m

	PARTE SUPERIOR	PARTE INFERIOR
ANTERIOR COTA	2502.22	2499.02
NUEVA COTA	2501.72	2498.52

El detalle de las tablas obtenidas de WaterCad al aplicar los cambios sugeridos se muestran a continuación.

ANEXO_MODELO_OPTIMO_HORIZONTAL

ANEXO_MODELO_OPTIMO_VERTICAL

Anexo 5. Cálculo de la eficiencia hidráulica.

Para calcular la eficiencia hidráulica se obtuvo el valor de cota de metros de columna de agua a la entrada del floculador y se restó las pérdidas del trayecto de floculación hasta la salida, esto se puede ver en el siguiente vinculo que redirige al Excel de cálculos de eficiencias la misma no se coloca en tabla debido a su amplitud.

CALCULO_DE_EFICIENCIAS_HIDRAULICAS