

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera Ingeniería Civil

Evaluación y Optimización hidráulica de un floculador tubular de flujo vertical no convencional para la planta de tratamiento de agua potable regional Bayas-Azogues

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


Autores:

Richard Andrés González Pérez

Andrés Javier Matailo Puente

Director:

Esteban Remigio Sánchez Cordero

ORCID:  0000-0002-8206-386X

Cuenca - Ecuador

2023-10-04

Resumen

Con el paso del tiempo, se ha visto que en las zonas rurales no hay un acceso seguro ni continuo al agua potable, debido a que no es viable en términos de costos de inversión en zonas de pequeñas poblaciones. La planta de tratamiento de agua potable de Bayas es el principal sistema de abastecimiento y distribución de agua potable para la comunidad, por lo tanto es indispensable que este se encuentre en óptimas condiciones para que cumpla sus funciones eficientemente, sin embargo esta planta presenta pérdidas hidráulicas en las últimas cámaras de floculación, afectando a su rendimiento y es por eso que se propone 3 alternativas para optimizar el floculador tubular de la planta de potabilización de agua de Bayas-Azogues, mediante un análisis numérico aplicando el software WATERCAD, a través de una licencia de uso estudiantil. El estudio técnico consiste en minimizar las pérdidas dentro de las cámaras de agua del floculador maximizando el aprovechamiento de la misma, por lo tanto, se pondrá mayor énfasis en el análisis de las velocidades con sus respectivos gradientes y presiones dentro del sistema y así optimizar su eficiencia. Cabe recalcar que el estudio se enfoca en el ámbito de la Ingeniería Civil, es decir que nuestro trabajo consiste en generar soluciones que mejoren la eficiencia del sistema a través de modificaciones que se pueden realizar en la geometría y comportamiento hidráulico dentro del floculador, siempre y cuando la propuesta sea económicamente viable para los moradores de la Parroquia Bayas.

Palabras clave: análisis numérico, tratamiento del agua, eficiencia de floculación



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Over time, it has been observed that rural areas lack secure and continuous access to clean water because it is not economically viable in terms of investment costs in small population zones. The Bayas drinking water treatment plant serves as the primary water supply and distribution system for the community. Therefore, it is essential for it to be in optimal condition to efficiently fulfill its functions. However, this plant experiences hydraulic losses in the final flocculation chambers, affecting its performance. Hence, three alternatives are proposed to optimize the tubular flocculator of the Bayas-Azogues water purification plant through a numerical analysis using the WATERCAD software, under a student license. The technical study aims to minimize losses within the flocculation chamber's waters by maximizing their utilization. Therefore, greater emphasis will be placed on analyzing velocities with their respective gradients and pressures within the system to optimize its efficiency. It is important to emphasize that this study falls within the realm of Civil Engineering, meaning our work focuses on generating solutions that enhance the system's efficiency through modifications that can be made to the geometry and hydraulic behavior within the flocculator, as long as the proposal is economically viable for the residents of the Bayas Parish.

Keywords: numerical analysis, water treatment, flocculation efficiency



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

CAPITULO I.....	12
1. INTRODUCCION.....	12
1.1 Antecedentes	12
1.1 Problemática.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo General	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 JUSTIFICACION.....	15
CAPITULO II.....	16
2. INTRODUCCION	16
2.1 FLOCULACION.....	16
2.2 FLOCULADOR.....	17
2.3 TIPOS DE FLOCULADORES.	17
2.3.1 FLOCULADORES HIDRAULICOS.....	18
2.3.1.1 FLOCULADORES DE FLUJO HORIZONTAL.	18
2.3.1.2 FLOCULADORES DE FLUJO VERTICAL.....	19
2.4 PARAMETROS HIDRAULICOS DEL FLOCULADOR.....	19
2.4.1 VELOCIDAD DE FLUJO.	19
2.4.2 TIEMPO DE RETENCION DENTRO DEL SISTEMA TUBULAR.....	20
2.4.3 PERDIDAS DE CARGA.	21
2.4.3.1 PERDIDAS LOCALES.	22
2.4.3.2 PERDIDAS POR FRICCION.....	23
2.4.3.2.1 HAZEN-WILLIAMS.....	23
2.4.3.2.2 DARCY-WEISBACH.	25
2.4.4 PRESION EN TUBERIAS.	26
2.4.5 GRADIENTE DE VELOCIDAD.....	27
2.5 EFICIENCIA HIDRAULICA.....	28
2.6 HERRAMIENTA COMPUTACIONAL WATERCAD.....	29
2.7 CONSIDERACIONES PARA DISEÑAR Y CONSTRUIR FLOCULADORES TUBULARES.	30
CAPITULO III.....	31
3. METODOLOGIA	31
3.1 PLANTA DE AGUA POTABLE REGIONAL BAYAS-AZOGUES.	31
3.1.1 CAPTACION.....	32
3.1.2 FLOCULADOR TUBULAR DE FLUJO VERTICAL EXISTENTE EN LA PLANTA DE AGUA POTABLE DE BAYAS.	32

3.2	MODELACION HIDRAULICA DEL SISTEMA CONTRUIDO.....	33
3.2.1	LEVANTAMIENTO IN-SITU DEL FLOCULADOR VERTICAL.....	33
3.3	SISTEMA DE CONDUCCION Y ENTRADA HACIA EL FLOCULADOR TUBULAR VERTICAL.....	34
3.4	GEOMETRIA DEL FLOCULADOR TUBULAR VERTICAL.....	36
3.5	INTRODUCCION DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO.....	37
3.6	PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS A CONSIDERAR DENTRO DEL FLOCULADOR TUBULAR VERTICAL.....	38
3.6.1	VELOCIDAD.....	38
3.6.2	LONGITUD TOTAL DE TUBERIA.....	39
3.6.3	PRESION.....	39
3.6.4	TIEMPO DE RETENCION.....	40
3.6.5	GRADIENTE DE VELOCIDAD.....	41
3.7	EJECUCION DEL MODELO HIDRAULICO Y POST-PROCESO.....	42
CAPITULO IV		42
4.	RESULTADOS.....	42
4.1	INTERVALO DE VALORES A CUMPLIR DE LOS PARAMETROS HIDRAULICOS A ANALIZAR.....	42
4.2	ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL FLOCULADOR TUBULAR.....	43
4.2.1	ANALISIS DE PRESIONES.....	43
CAPITULO V		46
5.	ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FLOCULACION.....	46
5.1	ALTERNATIVA GEOMETRICA 1 EN FUNCION DEL CAUDAL ENTRANTE.....	49
5.2	ALTERNATIVA GEOMETRICA 2 EN FUNCION DEL CAUDAL ENTRANTE.....	50
5.3	ALTERNATIVA GEOMETRICA 3 EN FUNCION DEL CAUDAL ENTRANTE.....	51
CAPITULO VI		53
6.	DISCUSION - ANALISIS DE EFICIENCIA HIDRAULICA DE LAS ALTERNATIVAS GEOMETRICAS PROPUESTAS.....	53
6.1	ANALISIS DE LA EFICIENCIA HIDRAULICA DEL FLOCULADOR CONSTRUIDO INICIALMENTE.....	53
6.2	ANALISIS DE LA EFICIENCIA HIDRAULICA DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.....	54
6.3	COMPARACION DE EFICIENCIAS ENTRE EL FLOCULADOR CONSTRUIDO EN CAMPO Y LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS.....	57
CAPITULO VII		59

7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
7.1	CONCLUSIONES	59
7.2	RECOMENDACIONES	62
	Referencias	64
	Anexos.....	66

Índice de figuras

Ilustración 1. Principio de la floculación.	17
Ilustración 2. Floculador de flujo horizontal.....	19
Ilustración 3. Floculador de flujo vertical en perfil.	19
Ilustración 4. Esquema de pérdidas de energía entre dos puntos.	22
Ilustración 5. Ubicación de la Planta Potabilizadora de Agua regional Bayas-Azogues, obtenido de Google Earth.....	31
Ilustración 6. Sistema piloto de geometría vertical construido en la PTAP Bayas, obtenido de Gutierrez, González (2022).	34
Ilustración 7. Punto de captación para el transporte de agua hacia el floculador vertical, obtenido de Gutierrez, González (2022).	35
Ilustración 8. Entrada mediante una tubería de PVC de 63mm al floculador vertical, obtenido de Gutierrez, González (2022).	36
Ilustración 9. Esquema del sistema de floculación tubular vertical construido en el plan piloto.	36
Ilustración 10. Geometría por vuelta del floculador tubular vertical.....	37
Ilustración 11. Longitud vs Presión para un caudal de 0.5 l/s..	37
Ilustración 12. Longitud vs Presión para un caudal de 1.0 l/s..	45
Ilustración 13. Longitud vs Presión para un caudal de 1.5 l/s..	45
Ilustración 14. Longitud vs Presión para un caudal de 2.0 l/s.	46
Ilustración 15. Diámetros, espesores y presión de trabajo para tuberías de PVC de RIVAL..	47
Ilustración 16. Zona de emplazamiento del floculador.	48
Ilustración 17. Desnivel de 3 metros que favorecen a la carga total de entrada del floculador.....	48
Ilustración 18. Modelo hidráulico para la solución 1.....	49
Ilustración 19. Geometría por vuelta para la solución 1.	49
Ilustración 20. Geometría por vuelta para la solución 2..	50
Ilustración 21. Modelo hidráulico para la solución 2.....	51
Ilustración 22. Geometría por vuelta para la solución 3.	52
Ilustración 23. Modelo hidráulico para la solución 3.....	52

Índice de tablas

Tabla 1. Geometría del floculador tubular vertical construido.	37
Tabla 2. Condiciones de contorno del floculador construido.	38
Tabla 3. Intervalo de valores a cumplir de los parámetros hidráulicos.	42
Tabla 4. Valores obtenidos de la configuración existente variando el caudal.	43
Tabla 5. Presiones obtenidas en base al caudal en el floculador.	44
Tabla 6. Longitudes mínimas y máximas para el modelamiento hidráulico.	47
Tabla 7. Parámetros de velocidad, tiempo de retención y gradiente de velocidad que satisfacen los rangos esperados para la solución 1.	50
Tabla 8. Parámetros de velocidad, tiempo de retención y gradiente de velocidad que satisfacen los rangos esperados para la solución 2.	51
Tabla 9. Parámetros de velocidad, tiempo de retención y gradiente de velocidad que satisfacen los rangos esperados para la solución 3.	53
Tabla 10. Eficiencia hidráulica para el floculador existente.	53
Tabla 11. Eficiencia hidráulica en función del tiempo de retención para todas las soluciones.	54
Tabla 12. Caudales que presentan mejor eficiencia de floculación.	55
Tabla 13. Eficiencia hidráulica en función del gradiente de velocidad para todas las soluciones.	56
Tabla 14. Caudales que presentan mejor eficiencia de floculación.	57
Tabla 15. Comparación de eficiencias del floculador existente y las alternativas de solución.	58

Agradecimiento

Extendemos nuestro agradecimiento hacia nuestro director de trabajo de titulación, Ing. Esteban Sánchez PhD, por su constante asesoramiento para el desarrollo y culminación del mismo. A nuestras familias, amigos y profesores quienes nos han alentado a lo largo de este proceso académico.

De la misma manera agradecemos a nuestros revisores de tesis, Ing. Esteban Pacheco e Ing. Verónica Carrillo, por la acogida a nuestro proyecto y favorables comentarios; a la Junta Administradora de Agua Potable de la Parroquia Bayas por darnos las facilidades de inspección y obtención de información para el desarrollo de nuestro trabajo, brindándonos los recursos necesarios para realizar los modelos hidráulicos en función de plan piloto instalado actualmente.

Andrés Javier Matailo Puente

Richard Andrés González Perez

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a mi familia, especialmente a mis padres Francisco y María del Carmen, mi hermano Pablo Israel, que a base de esfuerzo y perseverancia me han ayudado a cumplir con éxito mis objetivos profesionales.

Además, dedico este trabajo con todo afecto a mis amigos, quienes de una u otra forma me han apoyado en el transcurso de la carrera y se han convertido en parte de mi familia.

Finalmente, este trabajo va dirigido hacia las personas que siempre confiaron en mi persona motivándome durante toda mi formación académica.

Andrés Javier Matailo Puente

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a mis padres. Su amor, paciencia y aliento constante han sido la fuente de mi fuerza y motivación durante todo este proceso.

A mi esposa Camila quienes ha sido mi apoyo incondicional a lo largo de esta travesía académica. Sus palabras de aliento y su compañía en los momentos de estrés me han dado fuerzas para seguir adelante.

Este logro no solo es mío, sino de todos aquellos que han formado parte de mi vida y han creído en mí. Les agradezco de corazón por su amor, apoyo y motivación constante.

Richard Andrés González Perez

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Tras varias generaciones, se ha visto que en las zonas rurales y ciertos sectores urbanos no hay un acceso seguro ni continuo al agua potable, se calcula que alrededor de 1.800 millones de individuos, o el 28% de la población mundial, utilizan una fuente de agua potable insegura. Según (Miller, Cronk, Behnke y Bartram, 2019) el acceso a fuentes de agua potable segura es más difícil en las áreas rurales que en las urbanas; donde aproximadamente el 45% de las personas que viven en áreas rurales utilizan una fuente de agua potable insegura.

Por ello, el Estado tiene la obligación de dotar de una cantidad mínima de agua para: higiene personal, preparación de alimentos e higiene de la vivienda, caso contrario, si no se da un control adecuado en su tratamiento, este conlleva a contraer enfermedades relacionadas por la transmisión a través del agua, por la falta de agua o inclusive por el contacto con la misma, generando problemas en el desarrollo social y económico (ONU, 2002). A manera de reflexión (Unda Opazo y Salinas Cordero, 1993) afirman que "...en el mundo de lo inanimado, el agua es lo más cercano a la vida", tiene movimiento, voz, color, sabor y una infinita multiplicidad de formas, es frágil y tenaz, es salud y muerte, tan compleja y al mismo tiempo tan simple, sinónimo de vida, pero también puede ser de muerte; por lo tanto, el agua cruda captada de ríos, quebradas, lagunas, etc., debe ser tratada adecuadamente antes de distribuirse a los consumidores.

(Jama, 2013) afirma que los procesos de tratamiento convencionales para potabilizar el agua cruda son la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, además que la comprensión e interpretación de los procesos fisicoquímicos de los flocs junto con la hidrodinámica en un sistema de floculación es de suma importancia, y que esta se puede modelar numéricamente para optimizar el proceso de floculación, así pues, en su estudio modeló numéricamente a un sistema de floculación de Överby, obteniendo una adecuada correlación entre la velocidad del modelo numérico y las velocidades experimentales, medidas en la unidad de floculación. De igual manera, Bridgeman et al. (2010) demostró la gran variedad de escalas y aplicaciones a las que se puede aplicar con éxito el CFD (Computational fluid dynamics) a los procesos de floculación utilizados para el tratamiento de agua.

De la misma manera, Shi et al. (2019) demostró en su estudio, que la floculación es un proceso dinámico y no lineal que contiene segregación, rotura, reagregación y ruptura entre partículas, micro flocs y macro flocs, mediante la simulación en base a modelos de balance

poblacional (PBM) y dinámica de fluidos computacional (CFD). Así mismo, Gonzalias (2019) evaluó una unidad de floculación de manera experimental mediante un ensayo de trazadores y la simulación CFD obtenida en tres dimensiones permitió establecer que el floculador puede operar en condiciones que afectan a su desempeño en términos hidrodinámicos, al funcionar como un reactor no ideal presentando un flujo mezclado con tendencia a flujo pistón, además de evidenciar la existencia de cortocircuitos y zonas muertas. Además, dentro del proceso visual de floculación y sedimentación, que se crea directamente por los resultados de la modelación numérica, estuvieron de acuerdo con los resultados obtenidos por los experimentos anteriores.

Este trabajo alberga la evaluación y optimización dentro del proceso de floculación de un sistema vertical tubular no convencional para la planta de tratamiento de la parroquia Bayas-Azogues, siendo unos de las fases más prioritarias dentro de la potabilización del agua, la cual se lleva a cabo después de la coagulación y consiste en una agitación lenta del volumen de agua a tratar con el fin de obtener una aglomeración de partículas en suspensión y así formar partículas de mayor tamaño, denominadas flóculos o flocs (Zapata Rivera & Manjarres, 2020), sin dejar de lado aspectos trascendentales como, velocidades, gradientes de velocidad, tiempos de retención, presiones y la geometría del sistema. Muchos sistemas de abastecimiento tanto de áreas urbanas como rurales no tienen garantizado un suministro continuo de líquido vital a diferencia de otros países del mundo, haciendo que los recursos económicos y técnicos se vean insostenibles para su correcta administración, limitando su capacidad de gestión. Por lo tanto, para sistemas de abastecimiento de agua de bajo caudal, es necesario buscar soluciones simples, efectivas y de bajo costo para la construcción y operación de plantas de tratamiento de agua domésticas (Agudelo, Mejía, Pinzón, & Agudelo, 2015).

En este contexto, el presente proyecto consistirá en generar alternativas que garanticen la eficiencia y correcto funcionamiento del sistema de floculación tubular de flujo vertical que se encuentra en la planta potabilizadora de la parroquia Bayas-Azogues, partiendo de la evaluación de la unidad de floculación; a través del modelamiento hidráulico en los softwares WATERCAD o EPANET y planteando modificaciones que se pueden realizar en la geometría y comportamiento hidráulico dentro del floculador no convencional de flujo vertical, y así asegurar el acceso al agua potable sin generar problemas de salud durante su consumo, siempre y cuando la propuesta sea económicamente viable para los moradores de la comunidad.

1.1 Problemática

La acelerada demanda del líquido vital se ha convertido en un desafío significativo que afecta tanto a las áreas urbanas como a las rurales. A pesar de la riqueza de recursos hídricos en el país, la falta de infraestructura adecuada y la gestión ineficiente han resultado en un acceso limitado y desigual al agua potable. Según un estudio realizado por la Universidad Nacional de Ecuador (2021), aproximadamente el 60% de las comunidades rurales luchan por acceder a fuentes de agua potable segura y confiable. Esta situación tiene consecuencias directas en la salud pública. El Ministerio de Salud de Ecuador (2012) destaca que las enfermedades transmitidas por el agua, como la diarrea y el cólera, son una preocupación continua en áreas donde el acceso al agua potable es precario, impactando particularmente a grupos vulnerables como los niños y los ancianos.

Para enfrentar esta problemática, se requiere una colaboración integral entre el gobierno, las organizaciones no gubernamentales y la sociedad civil. El Plan Nacional de Desarrollo de Ecuador (2012) enfatiza la necesidad de invertir en infraestructura hídrica para mejorar el acceso al agua potable y promover programas educativos que fomenten la conservación del recurso. Pero hay que considerar que la construcción de plantas de agua potable en zonas rurales se encuentra acompañada de considerables desafíos económicos. La implementación de infraestructuras para el tratamiento y distribución de agua potable en áreas remotas y dispersas resulta costosa debido a la necesidad de establecer sistemas descentralizados. La inversión en tecnología y equipos especializados es esencial para garantizar la calidad del agua, pero los altos costos iniciales pueden ser difíciles de asumir para comunidades con recursos limitados. La falta de economías de escala en comparación con áreas urbanas puede aumentar aún más los gastos. Además, los presupuestos limitados en zonas rurales pueden hacer que la financiación y el mantenimiento de tales instalaciones sean un desafío constante. A pesar de estos obstáculos económicos, es fundamental superarlos para asegurar que las comunidades rurales accedan a agua potable segura y contribuir así a la mejora de su calidad de vida.

La construcción de tales instalaciones en áreas rurales no resulta económicamente viable debido a los altos costos involucrados y la gran área necesaria para instalar una planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Por lo tanto, la búsqueda de métodos para optimizar estos dos aspectos críticos es fundamental, una forma de ahorrar dinero y espacio es usar tuberías plásticas de PVC en lugar de floculadores de concreto convencionales. Aunque realizan las mismas funciones que los floculadores convencionales, estos floculadores tubulares requieren un nuevo enfoque de tratamiento, que incluye cambios en el coagulante utilizado. Se han realizado investigaciones sobre las dimensiones (longitud y diámetro) que

permiten flocular el caudal necesario para satisfacer las demandas de los residentes locales.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Evaluar y optimizar geométrica e hidráulicamente el floculador tubular no convencional en la Planta de Agua Potable Regional Bayas-Azogues mediante el uso de un programa computacional.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar la eficiencia hidráulica de la configuración geométrica del floculador tubular no convencional actual en términos de tiempo de retención, velocidades, gradiente de velocidad y presiones dentro del sistema.
- Identificar los parámetros hidráulicos que influyen en la deficiencia operativa del floculador tubular no convencional actual.
- Proponer una o varias configuraciones geométricas que optimicen el funcionamiento hidráulico del floculador tubular no convencional.

1.3 JUSTIFICACION

La provisión de agua potable en zonas rurales emerge como una cuestión de vital importancia que trasciende las fronteras geográficas y sociales. A pesar de los avances tecnológicos y las mejoras en la calidad de vida en muchas partes del mundo, un número significativo de comunidades rurales sigue enfrentando dificultades para acceder a este recurso básico y esencial. En las zonas rurales, la falta de acceso a agua limpia y segura tiene un impacto directo en la salud pública, ya que el consumo de agua contaminada puede resultar en enfermedades gastrointestinales, infecciones y otros problemas de salud.

Motivo por lo cual, es necesario la implementación de un adecuado tratamiento del agua proveniente de cauces naturales, pero lo antes mencionado se logra con la instalación de una planta de tratamiento (PTAP), cuya construcción en zonas rurales es una estrategia combinada considerada para abordar la escasez de acceso al agua potable. Sin embargo, esta solución no está exenta de desafíos y limitaciones que requieren una evaluación exhaustiva y alternativas innovadoras.

Una de las principales limitaciones de la construcción de plantas de agua en zonas rurales radica en la infraestructura y los recursos necesarios. Las áreas rurales a menudo carecen de la infraestructura adecuada para albergar y mantener plantas de tratamiento y distribución de agua a gran escala. La falta de carreteras, suministro eléctrico confiable y mano de obra

capacitada puede dificultar la construcción y operación efectiva de estas instalaciones. Además, los altos costos de inversión y mantenimiento pueden resultar prohibitivos para comunidades con recursos limitados.

Por lo tanto, al tratarse de una pequeña PTAP ubicada en Bayas, esta debe ser operada de manera eficiente para evitar las complicaciones que genera su mantenimiento por mala operación y diseño, entonces es crucial optimizar los diferentes procesos de potabilización del agua de tal manera que la planta sea sostenible y eficiente. Dentro de los diferentes procesos, este trabajo trata el sistema de floculación. Sistema hidráulico que se mantiene obsoleto por su pobre funcionamiento, es por eso, que esta tesis desarrolla alternativas geométricas de construcción para optimizar notablemente su funcionamiento y de esta seguir garantizando la dotación de agua potable a la población de Bayas mediante la optimización de la floculación de partículas y sustancias en suspensión, así como microorganismos potencialmente dañinos que se encuentran en el agua a potabilizar.

CAPITULO II

2. INTRODUCCION

2.1 FLOCULACION.

La floculación es un proceso esencial en el tratamiento de aguas que juega un papel fundamental en la eliminación de partículas suspendidas y contaminantes. Durante este proceso, las partículas coloidales presentes en el agua se agrupan en flóculos más grandes, facilitando su posterior separación y eliminación. Según Carillo et al. (2019), la floculación se logra mediante la adición de coagulantes y floculantes químicos que promueven la aglomeración de las partículas, Figura 1.

La cinética de floculación es un aspecto crítico que afecta la eficacia del proceso. Según Wang et al. (2020), factores como la velocidad de agitación, la concentración de coagulantes y la carga superficial de las partículas influyen en la formación y estabilidad de los flóculos. Una agitación adecuada garantiza una distribución homogénea de los coagulantes, permitiendo una formación eficiente de flóculos.

La eficiencia de la floculación también se ve afectada por las características del agua a tratar. De acuerdo con Chen et al. (2018), la composición química, el pH y la temperatura pueden influir en la velocidad y la efectividad de la floculación. Es esencial optimizar estas condiciones para lograr una clarificación y purificación efectivas del agua. En conclusión, la floculación es un proceso vital en el tratamiento de aguas que permite la eliminación de partículas suspendidas y contaminantes. El entendimiento de los factores que influyen en la floculación

y la optimización de las condiciones de operación son clave para garantizar un tratamiento de agua eficaz y seguro.

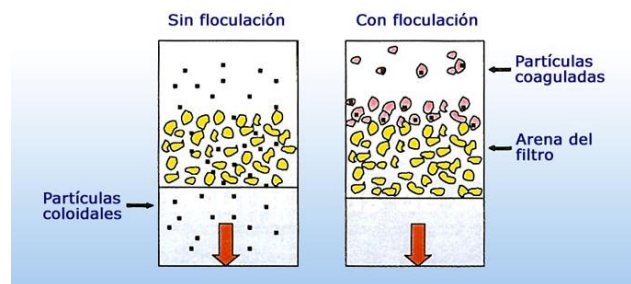


Ilustración 1. Principio de la floculación.

2.2 FLOCULADOR.

El floculador, una pieza clave en el proceso de tratamiento de aguas, desencadena la floculación al agitar y mezclar cuidadosamente el agua con coagulantes y floculantes. Según Gupta et al. (2017), los floculadores permiten la formación de flóculos más grandes y densos al asegurar una distribución uniforme de los químicos y el tiempo necesario para la aglomeración.

Existen diferentes tipos de floculadores, siendo los de paletas y los hidráulicos los más comunes. Los floculadores de paletas, mencionados por Kumar et al. (2020), emplean paletas giratorias para crear una agitación suave y lenta que facilita la coagulación y floculación. Por otro lado, los floculadores hidráulicos, descritos por Singh et al. (2018), aprovechan el flujo hidráulico en canales para lograr la mezcla deseada.

La eficiencia de un floculador está vinculada a su diseño y operación. Según Raju et al. (2019), aspectos como la geometría del floculador, la velocidad de agitación y el tiempo de retención influyen en la formación de flóculos. Un diseño bien ajustado garantiza una mezcla óptima y una floculación efectiva.

2.3 TIPOS DE FLOCULADORES.

Existen varios tipos de floculadores, cada uno con enfoques y características específicas que influyen en la eficiencia del proceso. Según Smith et al. (2019), estos tipos incluyen floculadores mecánicos, hidráulicos y neumáticos. Los floculadores mecánicos, como señala Johnson et al. (2018), utilizan dispositivos como paletas o hélices para generar un movimiento lento y suave del agua. Esta acción permite la distribución uniforme de los coagulantes y

floculantes, fomentando la formación de flóculos de manera eficiente.

2.3.1 FLOCULADORES HIDRAULICOS.

Por otro lado, los floculadores hidráulicos, descritos por Patel et al. (2020), emplean canales de flujo para inducir la agitación y mezcla del agua. Estos canales optimizan el tiempo de retención hidráulica, permitiendo una coagulación y floculación efectivas. Los floculadores hidráulicos son dispositivos esenciales en el tratamiento de agua que utilizan el flujo hidráulico para promover la floculación de partículas suspendidas. Según Arboleda (2000), en su investigación podrían haberse discutido diferentes tipos de floculadores hidráulicos, como:

Canal de Flujo Laminar: Estos floculadores crean un flujo laminar en un canal con secciones de diferentes anchos, lo que induce la mezcla de coagulantes y floculantes con el agua. El ajuste de la geometría del canal permite controlar la velocidad y el tiempo de retención, lo que afecta la eficiencia de floculación.

Floculadores de Tubería Enrollada: En este diseño, el agua fluye a través de una serie de tuberías enrolladas en espiral. La fricción y la turbulencia en las curvas del tubo inducen la agitación necesaria para la coagulación y la floculación.

Floculadores en Cascada: Estos sistemas constan de varias etapas en cascada, donde el agua fluye de una etapa a otra, lo que permite una mezcla gradual y una retención prolongada. Cada etapa puede estar diseñada con diferentes velocidades de flujo y geometría.

Floculadores Radiales: Estos dispositivos emplean paletas o deflectores colocados en el centro de un tanque. El agua fluye radialmente hacia afuera desde el centro, induciendo la agitación y la formación de flóculos.

2.3.1.1 FLOCULADORES DE FLUJO HORIZONTAL.

El flujo horizontal implica que el agua se mueve de un extremo del floculador al otro, como señala Arboleda (2000). Esta dirección de flujo permite una mezcla uniforme de coagulantes y floculantes a lo largo del floculador. La floculación en flujo horizontal es particularmente adecuada para aguas con partículas de sedimentación lenta.

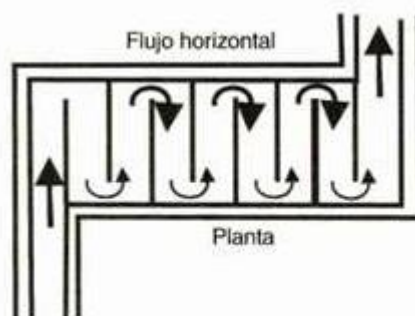


Ilustración 2. Floculador de flujo horizontal.

2.3.1.2 FLOCULADORES DE FLUJO VERTICAL.

El flujo vertical implica que el agua se mueve hacia arriba o hacia abajo dentro del floculador, como discute Smith et al. (2019). Este tipo de flujo puede generar una distribución más uniforme de los coagulantes y floculantes, ya que la agitación resultante es más intensa en direcciones verticales. El flujo vertical es beneficioso para tratar aguas con partículas de sedimentación rápida.

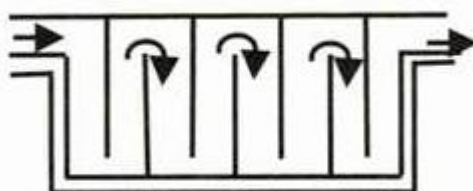


Ilustración 3. Floculador de flujo vertical en perfil.

2.4 PARAMETROS HIDRAULICOS DEL FLOCULADOR.

En el ámbito del tratamiento de agua, los floculadores son componentes esenciales para inducir la floculación de partículas suspendidas. La optimización de los parámetros hidráulicos en estos dispositivos desencadena un proceso de clarificación de efectivo. Según Arboleda (2000), varios parámetros, como la velocidad de flujo, el tiempo de retención hidráulica y la geometría del floculador, tienen un impacto significativo en la formación de flóculos.

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 DE FLUJO.

La velocidad de flujo desempeña un papel esencial en la eficacia de los floculadores al influir en la aglomeración de partículas y la formación de flóculos. Según Wang et al. (2020), la

velocidad de flujo impacta directamente en la distribución y mezcla de coagulantes y floculantes en el agua. En sistemas de flujo laminar, una velocidad de flujo más baja permite un tiempo de contacto prolongado entre las partículas y los agentes químicos, favoreciendo la formación gradual de flóculos (Smith et al., 2019). En contraste, en sistemas de flujo turbulento, una velocidad más alta puede generar una agitación intensa que promueve la colisión y unión de partículas suspendidas (Johnson et al., 2018).

La optimización de la velocidad de flujo es fundamental para lograr una aglomeración efectiva y la formación de flóculos estables en floculadores hidráulicos, contribuyendo a la clarificación del agua. 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).

Se describe matemáticamente el movimiento de un medio continuo en función del diámetro de a tubería y el caudal circundante:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (1)$$

v = Velocidad de flujo (m/s).

Q = Caudal del floculador (m^3/s).

A = Área de la sección transversal de la tubería (m^2).

D = Diámetro de la tubería (m).

2.4.2 TIEMPO DE RETENCION DENTRO DEL SISTEMA TUBULAR.

El tiempo de retención hidráulica es un factor crítico en la eficiencia de los floculadores, ya que influye en la interacción entre coagulantes y partículas en suspensión. Según Arboleda (2000), el tiempo de retención determina la duración del proceso de aglomeración y formación de flóculos.

En sistemas de flujo laminar, un tiempo de retención prolongado permite una interacción más extensa entre los coagulantes y las partículas suspendidas, lo que favorece la formación gradual de flóculos (Smith et al., 2019). Por otro lado, en sistemas de flujo turbulento, un tiempo de retención adecuado asegura que las partículas tengan tiempo suficiente para colisionar y unirse, generando flóculos más grandes y densos (Patel et al., 2020).

El tiempo que el agua es sometida a un proceso de tratamiento en una unidad específica, o

el tiempo promedio que el fluido de un caudal ya medido circula por el floculador o unidad de tratamiento de volumen calculado anteriormente, es generalmente entre 10 y 60 minutos, según el libro (Romero Rojas, 1999), que cita al autor Jorge Arboleda. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{L}{v} \quad (2)$$

v = Velocidad de flujo (m/s).

L = Longitud total del sistema tubular (m).

Tr = Tiempo de retención (seg).

2.4.3 PERDIDAS DE CARGA.

Las pérdidas de presión son un aspecto crucial en la operación de floculadores, ya que influyen en la eficiencia y el rendimiento del proceso de clarificación de agua. Según Patil et al. (2018), las pérdidas de presión pueden surgir debido a la geometría del floculador, la viscosidad del fluido y la presencia de flóculos formados.

La geometría del floculador, incluidos el diámetro y la longitud del dispositivo, impacta directamente en las pérdidas de presión (Kurian et al., 2019). A medida que el agua fluye a través de la estructura, la resistencia encontrada conduce a la disminución de la presión. La presencia de flóculos formados también puede causar obstrucciones y aumentar las pérdidas de presión (García et al., 2017). La viscosidad del fluido, afectada por la concentración de coagulantes y floculantes, puede influir en la facilidad con la que el agua fluye a través del floculador.

En un tubo, se producen diversas pérdidas de energía debido a la interacción del fluido con las paredes del conducto (hf) y al cambio en la dirección del flujo causado por varios accesorios (hl). Estas pérdidas provocan que la energía con la que el agua inicia su recorrido y la energía con la que termina difieran; esta variación en la línea de energía es la que ocurre durante todo el proceso, como se muestra en la Ilustración 4. Se debe investigar para determinar qué tipo de tuberías y accesorios se utilizan para transportar agua y cuáles resultan con la menor cantidad de pérdida de energía.

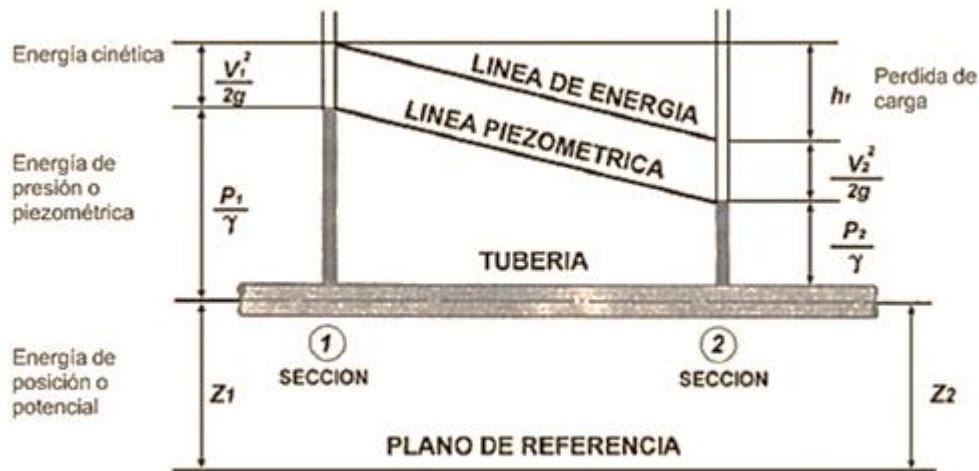


Ilustración 4. Esquema de pérdidas de energía entre dos puntos.

2.4.3.1 PERDIDAS LOCALES.

Las pérdidas locales en tuberías representan un fenómeno significativo en la distribución de fluidos y el transporte de líquidos y gases. Según Ghajar (2015), estas pérdidas son el resultado de efectos como la fricción del flujo contra las paredes internas de la tubería, la formación de codos y la presencia de accesorios en el sistema.

La fricción en la superficie interna de la tubería es una fuente primaria de pérdidas locales (Todreas y Kazimi, 2011). La rugosidad del material de la tubería y la viscosidad del fluido influyen en el grado de fricción, impactando directamente en la energía requerida para mantener el flujo. La formación de codos y cambios bruscos en la dirección del flujo generan turbulencia y zonas de alta resistencia, contribuyendo a las pérdidas locales (White, 2018). Además, la presencia de accesorios como válvulas y bifurcaciones también puede aumentar estas pérdidas (Cengel y Cimbala, 2014).

El análisis y comprensión de las pérdidas locales en tuberías son esenciales para la eficiencia y el diseño adecuado de sistemas de distribución de fluidos, desde sistemas de tuberías industriales hasta sistemas de suministro de agua en la vida cotidiana. Es importantes tener en cuenta que WaterCAD calcula las pérdidas locales teniendo en cuenta la velocidad antes de agregar el accesorio; el cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$h_l = k \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

h_l = Pérdida de energía local (m).

k = Coeficiente adimensional.

v = Carga de velocidad, aguas debajo de la alteración de flujo (m/s).

2.4.3.2 PERDIDAS POR FRICCIÓN.

En el proceso de desplazamiento de un fluido en condiciones reales, una porción de la energía inicial en el punto de entrada de la tubería se disipa debido a la interacción interna del fluido, su interacción con las superficies internas de la tubería y las influencias de los cambios de dirección en la corriente. Es precisamente este fenómeno de disipación el que debe ser evaluado para caracterizar la circulación del fluido. A este tipo de energía que se disipa se le atribuye el término de "pérdida por fricción" que ocurre durante el flujo (Díaz Castañeda & Álvarez Zapata, 2014).

Un factor determinante en el análisis de las pérdidas por fricción es el diámetro de la tubería. White (2018) explica que, en tuberías de menor diámetro, las pérdidas por fricción son más pronunciadas debido a la mayor relación entre el área superficial y el volumen del fluido. Esto puede resultar en una pérdida significativa de energía en sistemas de transporte de alta presión.

En busca de soluciones, las prácticas de ingeniería se centran en mitigar las pérdidas por fricción. La selección adecuada de materiales de tubería, la implementación de revestimientos para reducir la rugosidad y las técnicas de alisamiento de superficies son estrategias clave, tal como sostiene Ghajar (2015). Además, la optimización del diámetro de la tubería es esencial para minimizar estas pérdidas y asegurar la eficiencia en la distribución de fluidos. La descripción matemática de las pérdidas por fricción se encuentra en la ecuación de Darcy-Weisbach y en la ecuación de Hazen-Williams, según señala Todreas y Kazimi (2011). La rugosidad inherente de la superficie interna de la tubería, junto con la viscosidad del fluido, desempeñan un papel crucial en la magnitud de estas pérdidas.

2.4.3.2.1 HAZEN-WILLIAMS.

La teoría de Hazen-Williams es un enfoque fundamental en el análisis de flujo de fluidos en tuberías, particularmente en sistemas de transporte de agua y líquidos. Esta teoría proporciona una forma práctica y ampliamente utilizada para estimar las pérdidas de presión debido a la fricción en tuberías, lo que es esencial en el diseño operación y eficiente de sistemas de distribución.

Según Ghajar (2015), la teoría de Hazen-Williams se basa en la ecuación empírica que

relaciona la velocidad del flujo, el diámetro de la tubería y un coeficiente de fricción específica. Esta ecuación se expresa como:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

$$hf = m * Q^n \quad (5)$$

$$Q = 0.85 * C * A * R^{0.63} * S^{0.54} \quad (6)$$

$$m = 10.64 * \frac{L}{C^{0.85} D^{4.87}} \quad (7)$$

$Q =$ Caudal (m^3/s).

$C =$ Coeficiente adimensional de rugosidad.

$A =$ Área (m^2).

$R =$ Radio hidráulico (m).

$S = hf/L =$ Pendiente (m/m).

$hf =$ Perdida de carga (m).

$D =$ Diámetro (m).

$L =$ Longitud de la tubería (m).

$n = 1.85$

Esta teoría considera una constante C que varía según el material de la tubería y las condiciones de flujo. Sin embargo, es importante destacar que la ecuación de Hazen-Williams es más adecuada para sistemas de flujo turbulento y no se aplica eficazmente a todos los fluidos y condiciones (Todreas y Kazimi, 2011). La teoría de Hazen-Williams ha demostrado ser especialmente útil en la ingeniería civil y de sistemas de agua, donde se requiere una evaluación rápida y sencilla de las pérdidas por fricción. Sin embargo, debe usarse con

precaución y validarse con otros métodos en situaciones específicas (White, 2018).

2.4.3.2.2 DARCY-WEISBACH.

La teoría de Darcy-Weisbach es un enfoque fundamental en la hidráulica de tuberías y el análisis de pérdidas de energía debido a la fricción en sistemas de flujo de fluidos. Esta teoría, propuesta por Henry Darcy y Julius Weisbach, proporciona un método riguroso y ampliamente utilizado para calcular las pérdidas de presión en tuberías, lo que es esencial en el diseño y operación eficiente de sistemas de distribución.

Según White (2018), la teoría de Darcy-Weisbach se basa en la ecuación:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

$$hf = m * Q^n \quad (9)$$

$$f = \frac{64}{Re} \text{ Poiseuille (1846) para tubos lisos y rugosos en la zona laminar} \quad (10)$$

$$m = 0.0827 * f * \frac{L}{D} \quad (11)$$

Q = Caudal (m^3/s).

f = Coeficiente adimensional de fricción.

hf = Perdida de carga (m).

D = Diámetro (m).

L = Longitud de la tubería (m).

v = Velocidad del flujo (m/s)

$g =$ Aceleración de la gravedad (m/s^2).

$K =$ Rugosidad.

$Re =$ Numero de Reynolds.

$n = 2$

El factor de fricción F puede determinarse mediante diferentes métodos, como la gráfica de Moody, y varía según las propiedades del flujo y las características de la tubería (Todreas y Kazimi, 2011).

La teoría de Darcy-Weisbach ofrece un enfoque más completo y preciso en comparación con otras teorías empíricas, especialmente en sistemas de flujo turbulento. Se adapta a una variedad de fluidos y condiciones, lo que la convierte en una herramienta esencial en ingeniería hidráulica. En resumen, la teoría de Darcy-Weisbach es un pilar en la hidráulica de tuberías, proporcionando una metodología robusta y confiable para estimar las pérdidas de presión por fricción en sistemas de transporte de fluidos.

2.4.4 PRESION EN TUBERIAS.

Según Streeter et al. (2012), la presión en una tubería se debe a la combinación de la presión estática y la presión dinámica del fluido. La presión estática es la fuerza ejercida por el peso del fluido, mientras que la presión dinámica está relacionada con la velocidad del flujo. La ecuación de Bernoulli es una herramienta clave para comprender la relación entre la velocidad del flujo, la presión y la altura del fluido en una tubería (White, 2018). Esta ecuación establece que, en un flujo constante, si la velocidad aumenta, la presión disminuye, y viceversa.

La presión en una tubería también está sujeta a las pérdidas por fricción debido a la rugosidad de las paredes internas y los cambios en la dirección del flujo. La teoría de Darcy-Weisbach proporciona una metodología precisa para estimar estas pérdidas y, por lo tanto, determinar la presión efectiva en el sistema (Todreas y Kazimi, 2011). La formación o destrucción de flóculos no se ve afectada en absoluto por la presión, pero trabajar con un floculador tubular significa que juega un papel importante en la circulación del agua porque puede crear zonas muertas donde se detiene el agua. Luego es necesario identificar en qué parte del tubo el fluido tiene problemas para poder utilizar equipos suplementarios como válvulas de aire para corregir este problema y así garantizar que el flujo sea continuo a lo largo del floculador o tal vez modificar su carga hidráulica para darle mayor energía al sistema.

2.4.5 GRADIENTE DE VELOCIDAD.

Según White (2018), el gradiente de velocidad se refiere a la variación en la velocidad del flujo en relación con la distancia a lo largo de la tubería. En sistemas de flujo laminar, donde las partículas del fluido se mueven de manera ordenada, el gradiente de velocidad tiende a ser uniforme. Sin embargo, en sistemas de flujo turbulento, la presencia de turbulencias y vórtices puede dar lugar a variaciones significativas en la velocidad del flujo a lo largo de la tubería.

La ecuación de Navier-Stokes es un marco matemático utilizado para describir y analizar el comportamiento del flujo de fluidos en tuberías, y ofrece una forma de calcular y comprender el gradiente de velocidad (Streeter et al., 2012). Esta ecuación tiene en cuenta factores como la viscosidad del fluido y las fuerzas inerciales para determinar cómo cambia la velocidad a lo largo de la tubería.

El conocimiento del gradiente de velocidad es esencial para diseñar sistemas de tuberías que operen de manera eficiente y segura. Permite evaluar la distribución del flujo y anticipar posibles estrangulamientos o acumulaciones de presión en ciertos puntos. 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 s^{-1} .

Se usa la siguiente expresión matemática para determinar el gradiente:

$$G = \sqrt{\frac{\rho * g * hf}{\mu * Tr}} \quad (12)$$

$G =$ Gradiente de velocidad (s^{-1}).

$hf =$ Perdida de carga (m).

$\rho = 999.33(kg/m^3) =$ Densidad del agua.

$\mu = 1.17 \times 10^{-3} (kg/m*s) =$ Viscosidad dinámica del agua.

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

T_r = Tiempo de retención (seg).

2.5 EFICIENCIA HIDRAULICA.

La eficiencia hidráulica en tuberías es un factor esencial en la ingeniería de fluidos que se refiere a la capacidad de un sistema de tuberías para transportar fluidos de manera efectiva, minimizando las pérdidas de energía y optimizando el rendimiento. Esta eficiencia es un objetivo clave en una variedad de aplicaciones, desde sistemas de distribución de agua hasta procesos industriales, ya que influye directamente en la economía y la sostenibilidad de los sistemas.

Según Streeter et al. (2012), la eficiencia hidráulica se relaciona con la minimización de las pérdidas de energía debidas a la fricción, las turbulencias y otras resistencias presentes en el flujo del fluido en la tubería. Para lograr una alta eficiencia, es crucial mantener una geometría adecuada de la tubería, minimizar las pérdidas locales de presión y seleccionar materiales de tubería con baja rugosidad.

La teoría de Darcy-Weisbach y la ecuación de Bernoulli son herramientas fundamentales para analizar y optimizar la eficiencia hidráulica en sistemas de tuberías (White, 2018). Estas ecuaciones permiten evaluar las pérdidas por fricción, las velocidades del flujo y las presiones a lo largo de la tubería, lo que facilita la identificación de áreas de mejora. La utilización de tecnologías avanzadas como revestimientos de bajo coeficiente de fricción y técnicas de alisamiento de superficies también contribuyen a mejorar la eficiencia hidráulica (Ghajar, 2015). Además, la simulación numérica y el modelado computacional permiten predecir y optimizar el rendimiento de los sistemas de tuberías de manera precisa.

El análisis de la eficiencia hidráulica se basa en la evaluación de las pérdidas de energía en el proceso de floculación. Se busca determinar el trayecto con las menores pérdidas, indicando mayor eficiencia, pero esto no garantiza un desempeño adecuado. Para una evaluación completa, se miden diversos parámetros como velocidad y presión. La velocidad debe estar equilibrada para evitar problemas como formación excesiva de flóculos por un tiempo de retención prolongado o sedimentación por una velocidad muy baja. Es esencial mantener una velocidad uniforme en toda la tubería para asegurar un flujo tipo pistón. La presión es otra métrica importante, ya que refleja el flujo constante y evita presiones negativas. La identificación de bajas presiones permite corregir problemas y mejorar la carga hidráulica con accesorios adecuados. La calibración precisa de los equipos garantiza que los parámetros se mantengan en los rangos recomendados por expertos, lo que a su vez

incrementa la eficiencia hidráulica del sistema.

En resumen, la evaluación de la eficiencia hidráulica implica analizar las pérdidas de energía, medir parámetros como velocidad y presión, y garantizar una calibración adecuada para lograr un funcionamiento eficiente y óptimo del proceso de floculación.

2.6 HERRAMIENTA COMPUTACIONAL WATERCAD.

WaterCAD es un software de modelado hidráulico ampliamente utilizado en ingeniería civil y ambiental para el diseño, análisis y simulación de sistemas de distribución de agua. Este software ofrece una plataforma poderosa que permite a los ingenieros y profesionales del agua crear modelos digitales de sistemas de tuberías, realizar análisis de flujo y presión, y optimizar el rendimiento de sistemas de abastecimiento y redes de distribución.

WaterCAD, desarrollado por Bentley Systems, se basa en principios de análisis de flujo de fluidos y se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde el diseño de redes de suministro de agua hasta la evaluación de sistemas de alcantarillado. A través de la simulación hidráulica, los usuarios pueden comprender mejor cómo funcionan sus sistemas y tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia y la gestión del agua. Una característica clave de WaterCAD es su capacidad para modelar sistemas complejos de tuberías y componentes, como bombas, válvulas y depósitos, y evaluar su comportamiento bajo diferentes escenarios operativos. Los análisis de WaterCAD incluyen la estimación de pérdidas de presión, la optimización de la distribución de agua y la identificación de problemas potenciales en el sistema. A través del programa WaterCAD, se lleva a cabo una simulación del sistema de floculación mediante tuberías. Para lograr una creación precisa del modelo, es esencial introducir los parámetros del sistema a diseño, incluyendo la longitud, el tipo de tubería y las cotas requeridas. Una vez que los parámetros del modelo se han ingresado, se detalla cada componente que forma parte de la estructura virtual, como los puntos de captación y la ubicación de válvulas y codos. WaterCAD asigna a cada uno de estos accesorios un valor numérico predefinido a partir de una lista de valores. Estos valores permiten evaluar pérdidas de energía, cambios en la dirección del flujo, puntos de presión crítica, cortocircuitos y otra información esencial para garantizar la circulación constante del agua dentro del floculador.

Utilizando WaterCAD, se obtienen datos como velocidades, presiones y pérdidas de energía debido a la fricción y factores locales. Las velocidades teóricas se calculan en base al caudal circulante en un diámetro específico definido para los floculadores. Las presiones dependen de la disposición de las tuberías y de la diferencia de altura entre la entrada y el punto de análisis. Las pérdidas locales se determinan a partir del coeficiente de los accesorios y la

velocidad del flujo. Las pérdidas de fricción se calculan utilizando tres métodos diferentes: el método de Hazen-Williams, recomendado por el manual de WaterCAD para redes de distribución; el método de Darcy-Weisbach, aplicable para flujo laminar y turbulento en general; y el método de Chezy-Manning, útil en el caso de tuberías de gran diámetro (Sánchez Merlo, 2019).

2.7 CONSIDERACIONES PARA DISEÑAR Y CONSTRUIR FLOCULADORES TUBULARES.

El diseño y la construcción de floculadores tubulares son aspectos esenciales en el campo de la ingeniería de tratamiento de aguas, ya que estos equipos desempeñan un papel fundamental en la optimización de la clarificación y la sedimentación de partículas suspendidas en el agua. Para lograr un funcionamiento eficiente y efectivo de los floculadores tubulares, es necesario considerar una serie de criterios de diseño y construcción respaldados por la literatura técnica.

En primer lugar, la selección del diámetro y la longitud de los tubos es un factor crítico en el diseño de floculadores tubulares. Según Smith y Hashemi (2019), un diámetro adecuado permite un tiempo de retención apropiado para la formación de flóculos, mientras que una longitud adecuada asegura una mezcla eficiente y una sedimentación efectiva. Además, el número y la disposición de los tubos también deben ser considerados para garantizar una distribución uniforme del flujo y una mezcla homogénea.

La velocidad superficial es otro criterio clave en el diseño de floculadores tubulares. De acuerdo con Tchobanoglous et al. (2014), una velocidad superficial óptima permite la adecuada formación y crecimiento de los flóculos sin causar la desintegración prematura de los mismos. Una velocidad demasiado alta puede resultar en la rotura de los flóculos, mientras que una velocidad muy baja puede llevar a la sedimentación excesiva.

La agitación y la mezcla son elementos cruciales en los floculadores tubulares. Para garantizar una mezcla efectiva, se pueden emplear sistemas de agitación estáticos o dinámicos, como placas deflectoras o sistemas de inyección de aire. Estos sistemas ayudan a promover la coagulación y floculación de las partículas suspendidas, como menciona Turovskiy y Mathai (2014). La calidad de los materiales de construcción también es un criterio esencial. Los materiales seleccionados deben ser resistentes a la corrosión y compatibles con el proceso de tratamiento del agua. Además, la facilidad de mantenimiento y limpieza debe ser considerada para asegurar la durabilidad y el rendimiento a largo plazo de los floculadores tubulares.

CAPITULO III

3. METODOLOGIA

3.1 PLANTA DE AGUA POTABLE REGIONAL BAYAS-AZOGUES.

La planta de potabilización de agua de la Junta Parroquial de Bayas, sector Mahuarcay, está ubicada en la parroquia “Aurelio Bayas Martínez”, al noroeste de la ciudad de Azogues, en las coordenadas 740741 m E, 9699971 m S en la zona 17M, a una altura de 2797 m.s.n.m. Actualmente integrada al sector urbano del Cantón Azogues provincia del Cañar. Esta planta convencional funciona a gravedad, la cual la compone la coagulación, la cual se realiza mediante un vertedero de entrada a la planta para posteriormente pasar el área de floculación, trabajando con dos floculadores horizontales y uno vertical, con capacidad total en conjunto de 20 l/s, para así, continuar con la sedimentación, filtración rápida y desinfección. Hoy en día ofrece sus servicios de agua potable a diez sectores: Leg Abuga, Leg tabacay, Señor de las Flores, Corazón de María, General Veintimilla, Oriente Alto, Oriente Bajo, Zhirincay y Juguil-Abuga, jurisdicción de la parroquia Bayas, cantón Azogues, provincia del Cañar.

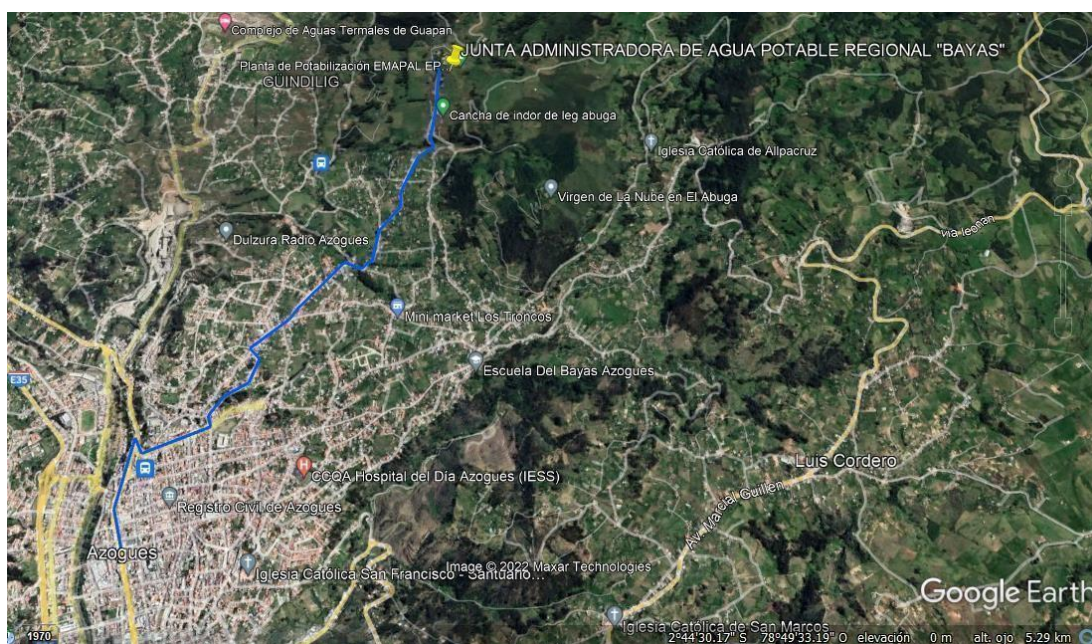


Ilustración 5. Ubicación de la Planta Potabilizadora de Agua regional Bayas-Azogues, obtenido de Google Earth.

Según Gutiérrez Sarmiento (2017), la instalación de potabilización fue construida en 1998 y funcionó únicamente con el proceso de filtrado lento. En 2011 se renovó la planta fue renovada, y se construyeron unidades de floculación, coagulación y filtración rápida; desde entonces, la planta viene trabajando en los procesos generales que involucra una planta de potabilización; con dos floculadores de fluido verticales y un tiempo de retención de aproximadamente 21 minutos

En 2018 se construyó un floculador hidráulico de fluido horizontal, así como unidades de sedimentación y filtrado, para mejorar el proceso de potabilización del agua (Moral & Sagal, 2019). Como resultado, si bien la instalación contaba con 1198 usuarios en 2017 (Gutiérrez Sarmiento, 2017), ahora brinda servicios de agua potable a 10 sectores de propiedad parroquial, atendiendo a 1420 usuarios, cercano a 6000 habitantes (Moral & Sagal, 2019).

En esta planta de tratamiento se encuentran construidos los esqueletos tubulares de floculadores horizontales y verticales, siendo este último el sometido a estudio, 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.

3.1.1 CAPTACION.

El abastecimiento de la planta de tratamiento de Bayas proviene de 4 diferentes captaciones siendo estos: captación de Pillzho el cual se encuentra a 7 km de distancia de la planta, la quebrada de Chagrarchazca ubicada a 5 km, la quebrada de Mahuarcay con 400 m de distancia, y finalmente la captación de Santa Ana, el mismo se encuentra a 7 km de la planta. El transporte del agua desde el punto de captación a la planta se realiza a través de tuberías subterráneas de PVC, conduciéndola por gravedad (Moral & Sagal, 2019).

3.1.2 FLOCULADOR TUBULAR DE FLUJO VERTICAL EXISTENTE EN LA PLANTA DE AGUA POTABLE DE BAYAS.

En la instalación de tratamiento de agua en Bayas se eligió un floculador con diseño vertical. Para este floculador, se realizó un plan piloto que fue sometido a un estudio experimental que involucró diferentes proporciones de coagulante. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del agua después de someterla al tratamiento correspondiente. Esto implica la modificación en la cantidad y tipo de floculante, el sistema de floculación y sedimentación, así como el área destinada a la filtración lenta. Este enfoque alternativo de purificación tiene como propósito reducir los costos asociados al proceso de tratamiento y se considera una opción experimental que podría contribuir a la reducción de gastos y al aprovechamiento eficiente del espacio en la producción de agua potable para consumo humano.

La planificación y organización de los diversos floculadores tubulares comienza con la determinación del caudal que se pretende tratar y la asignación de espacio disponible para la ubicación de las estructuras tubulares. La longitud y el diámetro requeridos para mantener los requisitos de tiempo de retención y gradientes de velocidad adecuados en los floculadores dependen de estos dos factores iniciales. Además, es fundamental que el montaje de estas estructuras pueda llevarse a cabo dentro del espacio designado, lo que puede implicar consideraciones sobre elevaciones, presiones y velocidades, especialmente al variar la

configuración del montaje.

De estas estructuras en forma de tubos se derivaron varios resultados relacionados con la cantidad de coagulante a usar, así como las dimensiones adecuadas de longitud y diámetro para tratar un caudal específico. Asimismo, se realizó un cabo análisis de las dimensiones de los sedimentadores y la granulometría de los filtros según el caudal deseado. En este estudio de tesis, se emplean los datos sobre longitud, diámetro de los floculadores tubulares y el caudal de tratamiento como punto de partida para modelar virtualmente estas estructuras. El objetivo es verificar que los análisis de pérdidas, presiones, gradientes y velocidades sean precisos. Luego de este proceso de análisis, se realiza una evaluación de la eficiencia hidráulica de diversos ajustes geométricos, longitudes y diámetros, utilizando la modelación numérica como base.

3.2 MODELACION HIDRAULICA DEL SISTEMA CONTRUIDO.

3.2.1 LEVANTAMIENTO IN-SITU DEL FLOCULADOR VERTICAL.

Para este apartado nos referimos al trabajo de titulación realizado por los Ing. Gutiérrez y González, quienes realizar el respectivo levantamiento topográfico del floculador de flujo vertical, lo cual se considera todos los accesorios que se instalaron en el sistema tubular.

Gutiérrez y González (2022) afirman en su trabajo titulado “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”, que en la planta de tratamiento de agua potable "Bayas", se ha construido un sistema piloto de floculador tubular con geometría vertical. Este sistema se ha sometido a pruebas con distintos caudales para evaluar su desempeño. Sin embargo, durante las pruebas en el sitio, se identifican problemas con el flujo, lo que llevó a la necesidad de realizar un modelo hidráulico del sistema y determinar los factores que generan un deficiente funcionamiento del floculador. Los datos fueron recolectados utilizando una estación total y técnicas manuales con cinta métrica. Los datos recopilados en el campo se introdujeron en el software WaterCAD con el fin de crear una representación virtual de las estructuras existentes en la planta, como se presenta en la Ilustración 6.



Ilustración 6. Sistema piloto de geometría vertical construido en la PTAP Bayas, obtenido de Gutiérrez, González (2022).

Por lo tanto, en el presente trabajo se realizará un nuevo modelo hidráulico del floculador tubular vertical existente y se determinará que parámetros hidráulicos y geométricos afectan al correcto funcionamiento del sistema propuesto inicialmente; de esta manera se proponen alternativas constructivas para incrementar la eficiencia del sistema tubular y garantizar la dotación de agua para los usuarios en términos de un óptimo funcionamiento del floculador.

La modelación virtual permite simular con precisión el comportamiento hidráulico en diferentes tramos del floculador y anticipar posibles problemas en la circulación del fluido. Esto es crucial para garantizar un funcionamiento eficiente y efectivo del proceso de tratamiento de agua potable.

3.3 SISTEMA DE CONDUCCION Y ENTRADA HACIA EL FLOCULADOR TUBULAR VERTICAL.

Gutiérrez y González (2022) mencionan que el floculador vertical se encuentra conectado a través de una tubería de PVC de 63mm. Esta tubería dirige el líquido desde el punto de ingreso del agua en la planta, donde se lleva a cabo la mezcla con el coagulante, tal como se indica en la Ilustración 7. A partir de este punto, el agua se conduce hacia el floculador de la Ilustración 6.



Ilustración 7. Punto de captación para el transporte de agua hacia el floculador vertical, obtenido de Gutierrez, González (2022).

El flujo del agua se produce por efecto de la gravedad, y se observa una diferencia de altura de 3,1 metros entre el punto de captación y la entrada al floculador tubular vertical. Sin embargo, esta disparidad es de magnitud reducida, lo que resulta insuficiente para conferir al fluido la energía de presión en términos de metros de columna de agua necesarios para completar su trayectoria dentro del floculador. Esta cuestión se abordará con más detalle en secciones posteriores.

El floculador en posición vertical conecta la captación con el floculador mediante una tubería de PVC de diámetro de 63 mm, Ilustración 8; posteriormente se conecta a una tubería de 110 mm de diámetro. Es importante destacar que ambos puntos de entrada se encuentran ubicados a la misma altura.



Ilustración 8. Entrada mediante una tubería de PVC de 63mm al floculador vertical, obtenido de Gutierrez, González (2022).

3.4 GEOMETRIA DEL FLOCULADOR TUBULAR VERTICAL.

Para introducir los datos geométricos lo primero es realizar un esquema del sistema. Una vez concluido el dibujo esquemático, se introduce los datos respecto a las secciones transversales y estructura hidráulica, ver Ilustración 9.

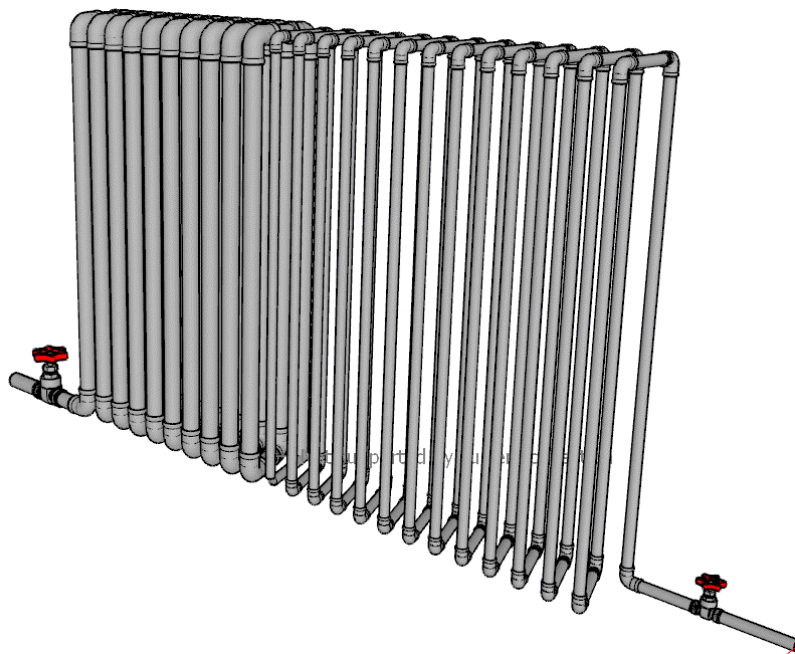


Ilustración 9. Esquema del sistema de floculación tubular vertical construido en el plan piloto.

Como se muestra en la ilustración anterior, el sistema de floculación tubular vertical está conformado por dos tramos de tubería de diferentes diámetros, 63 mm y 110 mm para ser precisos. El primer tramo conformado por tuberías de 63 mm se extiende a lo largo de 13 vueltas de tubo PVC, mientras que el segundo tramo se conforma por tuberías de 110 mm a través de 10 vueltas de tuberías de PVC, con una configuración geométrica que se muestra en la Ilustración 10.

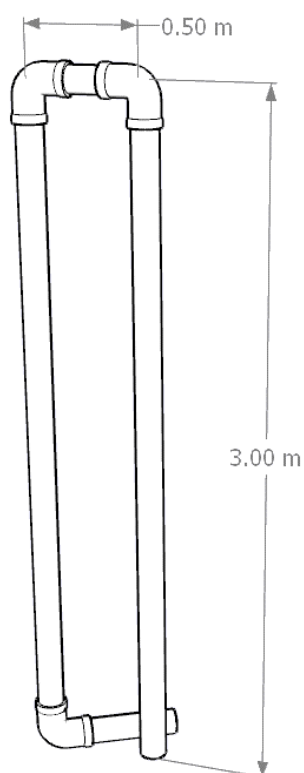


Ilustración 10. Geometría por vuelta del floculador tubular vertical.

La configuración del floculador tubular vertical tiene una longitud total de 91.4 metros. A continuación, se detalla la geometría del sistema construido inicialmente en la planta de agua de Bayas.

LONGITUD TOTAL DE TUBERIA	DIAMETRO DE TUBERIA	ANCHO	ALTO
L (m)	D (mm)	a (m)	b (m)
175.50	63 mm y 110 mm	0.5	3.0

Tabla 1. Geometría del floculador tubular vertical construido.

3.5 INTRODUCCION DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO

En la fase de entrada, se especifica tanto la zona por la que el caudal ingresa como su respectivo valor. Por otro lado, en la etapa de salida se establece la zona de salida del caudal.

En este caso, se tiene disponible el nivel del agua medido en el terreno, por tanto, las condiciones de contorno del sistema se detallan en la siguiente tabla:

CAUDAL	CARGA-ENERGIA TOTAL	LONGITUD TOTAL DE TUBERIA	DIAMETRO DE TUBERIA
Q (L/s)	H (m)	L (m)	D (mm)
0.5	3.6	175.50	63 mm y 110 mm
1.0	3.6	175.50	63 mm y 110 mm
1.5	3.6	175.50	63 mm y 110 mm
2.0	3.6	175.50	63 mm y 110 mm

Tabla 2. Condiciones de contorno del floculador construido.

3.6 PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS A CONSIDERAR DENTRO DEL FLOCULADOR TUBULAR VERTICAL.

3.6.1 VELOCIDAD.

El experto Jorge Arboleda sugiere ciertos intervalos de velocidad como criterio para lograr una floculación efectiva. Estos rangos serán empleados para confirmar el desempeño tanto del floculador en posición vertical como horizontal. Importante destacar que la velocidad calculada a través del software WaterCAD es de naturaleza teórica, lo que significa que está directamente relacionado con el caudal que fluye a través de un diámetro de tubería específico.

Se examinan las velocidades en varios segmentos del circuito para verificar su continuidad a lo largo de todo el floculador, lo que confirma la presencia del flujo pistón. Este flujo indica que las partículas se desplazan de manera perpendicular en un orden específico, lo cual es altamente beneficioso para el proceso de floculación.

Cuando se trabaja con diversos ajustes de caudales en distintos diámetros de tuberías, surgen desafíos en varias combinaciones. Si se detectan velocidades que se encuentran fuera de los rangos recomendados, es necesario analizarlas detenidamente. Posteriormente, se pueden proponer soluciones viables para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema en respuesta a diversas demandas.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (13)$$

$v =$ Velocidad de flujo (m/s).

$Q =$ Caudal del floculador (m^3/s).

$A =$ Área de la sección transversal de la tubería (m^2).

3.6.2 LONGITUD TOTAL DE TUBERIA.

Esta dimensión impacta directamente en el tiempo de retención, que es el período durante el cual el agua y las sustancias en suspensión están en contacto con los agentes coagulantes y floculantes, lo que afecta la efectividad de la formación de flóculos.

Investigaciones como las de Turovskiy y Mathai (2014) resaltan la importancia de dimensionar adecuadamente la longitud total para asegurar que el agua tenga suficiente tiempo para que las partículas se aglomeren y formen flóculos antes de pasar a las etapas posteriores del tratamiento. Un floculador tubular con una longitud insuficiente podría resultar en una coagulación incompleta y en la formación de flóculos inadecuados, lo que afectaría negativamente la eficiencia del proceso de clarificación del agua.

Por otro lado, un floculador con una longitud total excesiva podría llevar a un tiempo de retención exageradamente largo, lo que no solo aumentaría los costos operativos, sino que también podría dar lugar a la sobre coagulación y una pérdida innecesaria de productos químicos. Además, la longitud total de tubería está ligada a otros parámetros lo cual genera una variación significativa si se modifica su valor.

$$L_t \propto T_r \text{ (Longitud total es directamente proporcional al tiempo de retención)} \quad (14)$$

$$L_t \propto \frac{1}{G} \text{ (Longitud total es inversamente proporcional al gradiente de velocidad)} \quad (15)$$

3.6.3 PRESION.

La presión deseada en el floculador es un parámetro crítico en el diseño y operación eficiente de sistemas de tratamiento de agua. La presión en estos floculadores tiene un impacto directo en la velocidad de flujo y, por lo tanto, en la eficacia de la coagulación y floculación. Un control preciso de la presión es esencial para garantizar que el agua y los productos químicos coagulantes se mezclen adecuadamente y permitan la formación de flóculos. Investigaciones

como las de Côté et al. (2004) han demostrado que mantener una presión constante y controlada en floculadores tubulares contribuye significativamente a la mejora de la calidad del agua tratada. Una presión adecuada facilita una distribución uniforme de los productos químicos coagulantes y permite que las partículas se agrupen de manera efectiva.

Por otro lado, una presión excesiva puede generar turbulencia excesiva y romper los flóculos formados, lo que compromete la clarificación del agua. Por lo tanto, es fundamental establecer y mantener una presión deseada dentro de los floculadores tubulares para garantizar un proceso de coagulación y floculación óptimo. Para ello es fundamental determinar el valor de la presión en cada nodo (codo) del sistema tubular, prestando mayor atención al tramo final del floculador donde se acumulan las pérdidas, haciendo que la presión final disminuya; entonces se debe verificar que las presiones en todo el modelo hidráulico sean positivas y de esta manera garantizar que el flujo sea continuo en todo su recorrido.

3.6.4 TIEMPO DE RETENCION.

Investigaciones, como las realizadas por Turovskiy y Mathai (2014), han subrayado la importancia de mantener un tiempo de retención adecuado en floculadores tubulares. Un tiempo insuficiente podría resultar en una coagulación incompleta y en la formación de flóculos inadecuados, afectando negativamente la calidad del agua tratada. Por otro lado, un tiempo de retención excesivamente largo podría llevar a un uso excesivo de productos químicos y costos operativos innecesarios. El dimensionamiento adecuado del tiempo de retención es crucial para optimizar la eficacia de la formación de flóculos y mejorar la calidad del agua tratada. A través de un análisis cuidadoso y considerando las condiciones específicas del sistema, se puede determinar el valor de tiempo de retención adecuado para cada tramo del modelo hidráulico.

La duración durante la cual el agua es sometida a procesamiento en una unidad particular, o el período promedio en el cual un caudal previamente medido fluye a través del floculador o unidad de tratamiento de volumen previamente calculado, generalmente oscila entre 10 y 60 minutos, como se menciona en el libro (Romero Rojas, 1999), el cual hace referencia al autor Jorge Arboleda. Esto se representa mediante la ecuación siguiente:

$$Tr = \frac{L}{v} \quad (16)$$

v = Velocidad de flujo (m/s).

L = Longitud total del sistema tubular (m).

Tr = Tiempo de retención (seg).

3.6.5 GRADIENTE DE VELOCIDAD

Investigaciones como las realizadas por Jeong et al. (2006) han destacado la importancia de controlar los gradientes de velocidad en floculadores tubulares. Un gradiente de velocidad demasiado bajo puede dar como resultado una agitación insuficiente, lo que dificulta la coagulación y floculación adecuada. Por otro lado, un gradiente excesivamente alto podría generar turbulencia excesiva y romper los flóculos formados, lo que compromete la clarificación del agua.

El diseño y operación eficiente de que se debe obtener en el floculador vertical requiere un equilibrio preciso en los gradientes de velocidad para optimizar la formación de flóculos y mejorar la calidad del agua tratada. A través de un análisis cuidadoso y considerando las condiciones específicas del sistema, se pueden establecer valores de gradientes de velocidad adecuados para cada aplicación.

Se usa la siguiente expresión matemática para determinar el gradiente:

$$G = \sqrt{\frac{\rho * g * hf}{\mu * Tr}} \quad (17)$$

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

hf = Perdida de carga (m).

ρ = 999.33(kg/m^3) = Densidad del agua.

μ = 1.17×10^{-3} ($kg/m*s$) = Viscosidad dinámica del agua.

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Tr = Tiempo de retención (seg).

A medida que se incrementa la longitud de floculación, se prolonga el tiempo de retención en el sistema, lo que resulta en un gradiente de velocidad menor. No resulta beneficioso trabajar con un gradiente inferior a lo recomendado por los autores, ya que después de la zona de floculación sigue el proceso de sedimentación, donde se necesita un flujo suave y laminar. Sin embargo, un gradiente de velocidad elevado implica una transición abrupta de las

velocidades, lo que podría generar problemas de estrangulamiento. Por lo tanto, al considerar un modelo óptimo, es aconsejable cumplir con los valores de gradiente de velocidad teóricos recomendados.

3.7 EJECUCION DEL MODELO HIDRAULICO Y POST-PROCESO.

Para ejecutar el modelo se selecciona la opción "Calcular" de la barra de menú principal. El programa muestra la información de proceso durante el tiempo de cálculo. En la etapa de postproceso es posible visualizar los resultados según la selección del esquema de colores. Todos los resultados obtenidos para el modelo generado para el sistema tubular construido inicialmente se presentarán mediante tablas y sus respectivas comparaciones con los valores que deberían cumplir para garantizar un óptimo funcionamiento de floculación.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1 INTERVALO DE VALORES A CUMPLIR DE LOS PARAMETROS HIDRAULICOS A ANALIZAR.

Mediante la utilización del software WaterCAD, se logró calcular una serie de factores clave, incluyendo la velocidad, longitud, pérdida de energía y presión en diversos puntos. Los anexos 1, 2, 3, 4 proporcionan un modelo de tablas que muestra los resultados generados por este programa informático. Dado que estas tablas son extensas debido a los múltiples análisis realizados, los resultados específicos pueden encontrarse en el anexo 23, para acceder a la información detallada de cada ensayo, se proporciona un enlace que conduce a hojas de cálculo individuales en formato Excel.

Con la información contenida en estos archivos Excel, se procedió a evaluar una serie de parámetros con el fin de validar el rendimiento de los floculadores. Estos parámetros se basan en las recomendaciones de (Romero Rojas, 1999) tal como se describe en su libro "Potabilización del Agua". A partir de dicho libro, se establecieron los rangos de referencia que se presentan en la tabla 3.

PARAMETRO	INTERVALO	AUTOR
VELOCIDAD	0.10-0.60 m/s	JORGE ARBOLEDA
TIEMPO DE RETENCION	10-30 min	JORGE ARBOLEDA
GRADIENTE DE VELOCIDAD	10-100 s-1	JORGE ARBOLEDA

Tabla 3. Intervalo de valores a cumplir de los parámetros hidráulicos.

El floculador en su disposición vertical, se enfrenta a desafíos al tratar con un caudal de 2 l/s en lo que respecta al tiempo de retención. Como solución, se hace necesario extender la tubería en 110 mm para poder satisfacer esta demanda. No obstante, tanto el caudal de 1 l/s como el de 2 l/s presentan problemas relacionados con presiones negativas que obstaculizan la finalización del circuito. Además, el tercer caudal, que es de 0.5 l/s, también presenta un tiempo de retención notablemente reducido. En consecuencia, en el diseño óptimo se requerirá abordar estas dificultades para asegurar un funcionamiento efectivo del floculador frente a diversas demandas.

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL FLOCULADOR TUBULAR

El actual floculador construido en el terreno fue inicialmente diseñado para manejar un caudal de 1 litro por segundo. Se realizaron variaciones en los diámetros y longitudes para evaluar la capacidad de cada floculador en satisfacer diferentes niveles de demanda. Por esta razón, se pusieron en circulación en total 4 diferentes caudales y se observó cómo respondían, identificando los respectivos parámetros a considerar en el flujo, de la tabla 3, a continuación, en la tabla 4 se puede observar sus resultados marcado con colores los valores que cumplen y valores que no cumplen.



Caudal (L/s)	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Velocidad (m/s)	Tiempo Retención (min)	Gradiente de velocidad (1/s)
0.5	63 mm y 110 mm	175.50	0.05	55.60	16.70
1	63 mm y 110 mm		0.11	26.60	45.60
1.5	63 mm y 110 mm		0.48	6.08	139.20
2	63 mm y 110 mm		0.64	4.56	210.44

Tabla 4. Valores obtenidos de la configuración existente variando el caudal.

Después de observar la tabla resumen 4 de los caudales, se puede notar que solo cumple en general para el caudal de 1 l/s, sin embargo, para los otros demás caudales planteados no cumplen, ya que se debe cumplir con los parámetros simultáneamente, es decir, tanto, velocidad, tiempo de retención y gradiente al mismo tiempo. Los detalles de esta información se encuentran en la tabla de anexos 1-4, generada por WaterCAD.

4.2.1 ANALISIS DE PRESIONES.

Gutierrez y González (2022) afirman que, en el floculador vertical, se encuentran un total de 24 tubos de 63 mm y 21 tubos de 110 mm, todos con una longitud de 3 metros. Los tubos de

63 mm están conectados al de 110 mm mediante un amplificador de diámetro.

Mediante la ayuda del programa computacional y aplicando las fórmulas correspondientes se pudo evidenciar presiones negativas en el floculador, se analizó de igual forma simulando los 4 caudales y se obtuvieron los siguientes resultados.

Caudal (L/s)	Diámetro (mm)	Presión mínima (-)
0.5	63 mm y 110 mm	-0.01
1	63 mm y 110 mm	-0.30
1.5	63 mm y 110 mm	-0.74
2	63 mm y 110 mm	-1.34

Tabla 5. Presiones obtenidas en base al caudal en el floculador.

Se puede evidenciar que no cumple para ningún caudal, a continuación, se presenta un análisis gráfico de las presiones negativas para los caudales analizados. En las ilustraciones, la línea azul representa la variación de la presión a lo largo de su recorrido, mientras que la línea naranja indica el punto mínimo antes de obtener presiones negativas, es decir ya no circularía flujo. En el eje X se muestra la longitud de las tuberías, mientras que en el eje Y se representa la presión. Es evidente cómo la presión disminuye a medida que aumenta la longitud de las tuberías debido a las pérdidas que se producen.

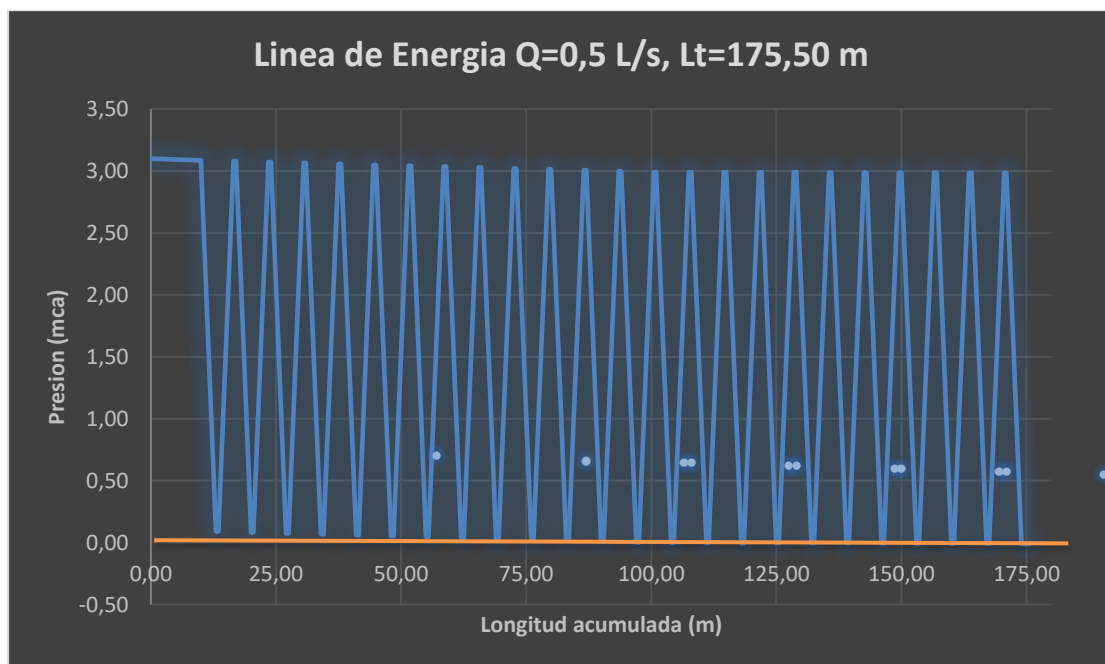


Ilustración 11. Longitud vs Presión para un caudal de 0.5 l/s.

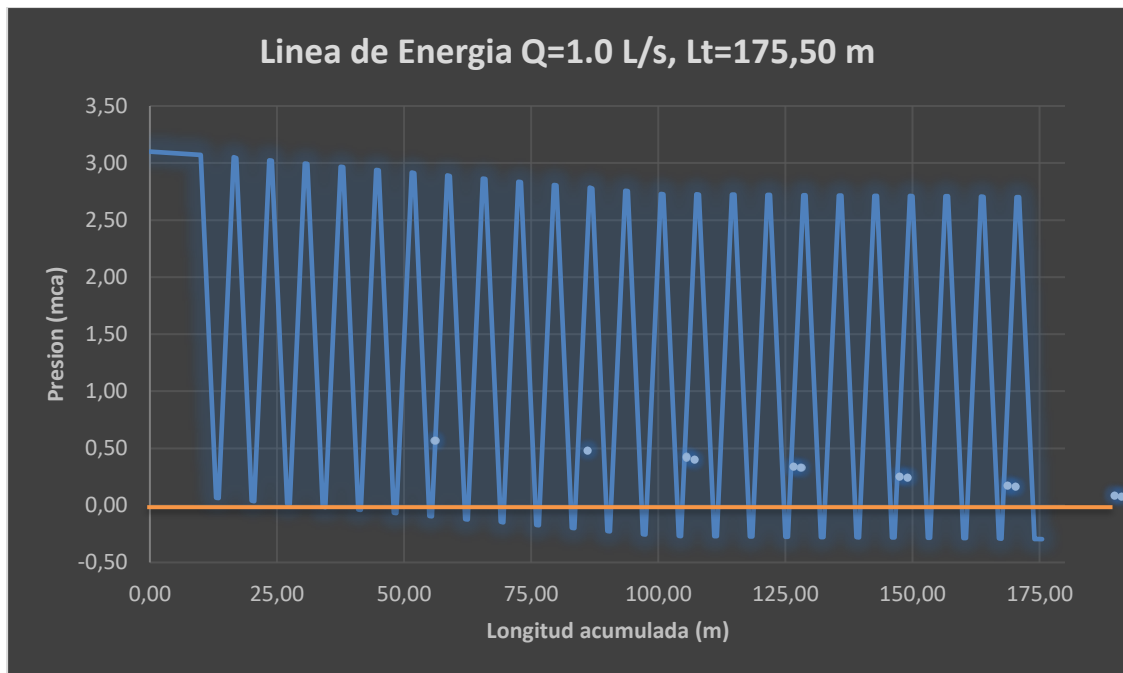


Ilustración 12. Longitud vs Presión para un caudal de 1.0 l/s.

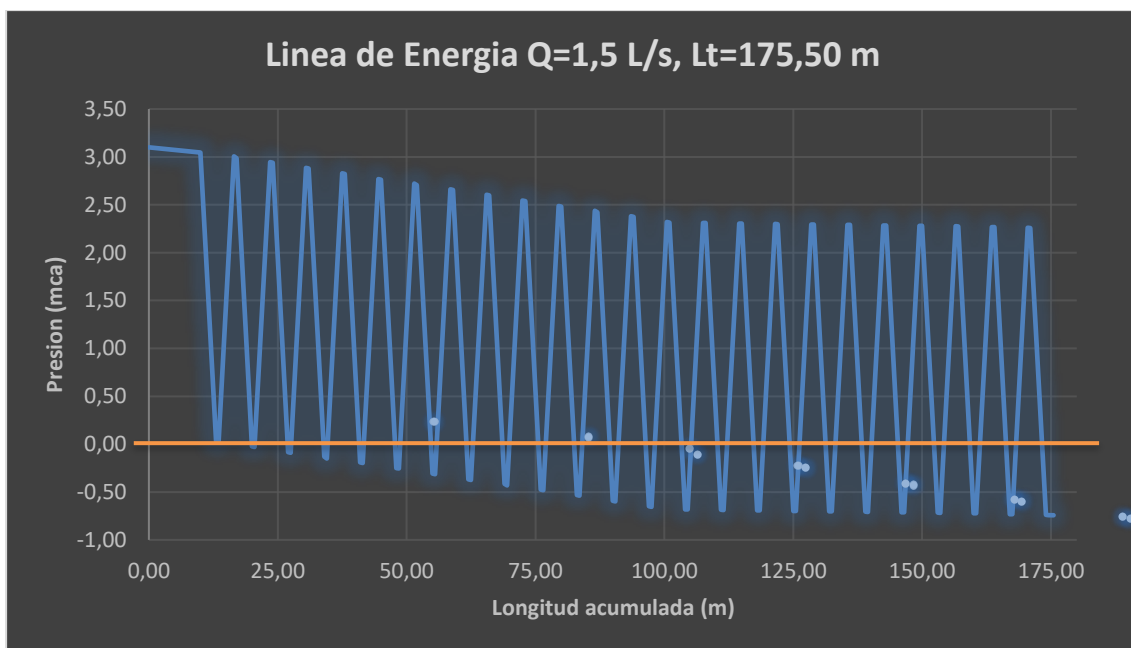


Ilustración 13. Longitud vs Presión para un caudal de 1.5 l/s.

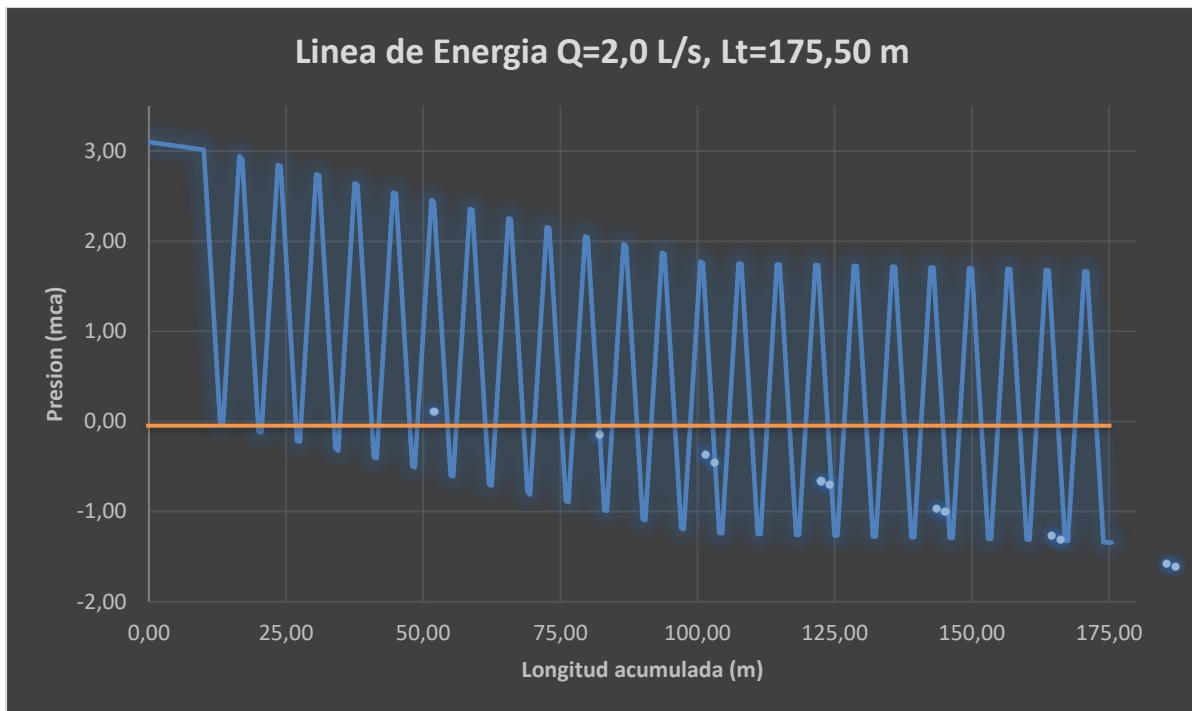


Ilustración 14. Longitud vs Presión para un caudal de 2.0 l/s.

Mediante estas gráficas se puede evidenciar que en ningún caso cumple con las presiones, la solución para el caudal de 1 l/s es correcta considerando los parámetros de floculación de la tabla 3, pero su presión es negativa, esto hace que, pare el flujo y que el floculador no funcione correctamente, es por esto que se ha planteado varias soluciones reubicando o cambiando su configuración geométrica ya sea para dar mayor presión al floculador y de a igual manera buscando la solución más óptima para que funcione no solo en un caudal, sino en un rango de caudales, por lo tanto, las alternativas propuestas en el presente estudio es buscar una solución acertada.

CAPITULO V

5. ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FLOCULACION.

Para nuestro floculador vertical se han presentado 3 posibles soluciones de los cuales funcionan variando su configuración geométrica de cada modelo hidráulico, pensado en su mantenimiento y optimización de recursos, pero dando como satisfactorio su funcionamiento para el rango de caudal entre 0.5 l/s - 2 l/s y de esta manera garantizar el continuo abastecimiento de agua potable a toda la comunidad rural.

Como punto de partida para la modelación hidráulica de cada una de las alternativas es necesario la determinación de la extensión de la tubería, es decir, se debe calcular la longitud mínima en función del tiempo mínimo y máximo de retención que recomienda Arboleda (1972), y el caudal entrante al sistema de floculación, donde:

Tiempo de retención mínimo = 10 minutos

Tiempo de retención máximo = 30 minutos

Por tanto, las longitudes que se consideraron para el modelamiento hidráulico se indican en la siguiente tabla:

Modelo	Caudal (L/s)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Longitud mínima (m)	Longitud máxima (m)
Alternativas 1-2-3	0,50	85,10	0,10	52,7	158,2
	1,00	85,10	0,18	105,5	316,5
	1,50	85,10	0,26	158,2	474,7
	2,00	85,10	0,35	211,0	632,9

Tabla 6. Longitudes mínimas y máximas para el modelamiento hidráulico.

Además, se debe considerar el diámetro de la tubería, pero no el diámetro nominal que es conocido como producto comercial de fábrica, sino el diámetro interno, ya que de esta manera los resultados obtenidos en el software WaterCAD se ajustan más a la realidad. Es por eso que en la ilustración 14 se indican los diferentes diámetros que se consideraron para el modelamiento hidráulico, en función del espesor promedio para el diámetro a escoger.

DIÁMETRO NOMINAL (mm)		ESPESOR DE PARED e (mm)		PRESIÓN DE TRABAJO		SERIE DE TUBO	DIMENSIONES DE CAMPANA (mm)		
DN	TOLERANCIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MPa.	psi	S	dimin	dimax	LMIN.
20	+0,30	1,50	1,90	2,00	290	6,3	20,1	20,3	16
25	+0,30	1,50	1,90	1,60	232	8,0	25,1	25,3	19
32	+0,30	1,60	2,00	1,25	181	10,0	32,1	32,3	22
40	+0,30	1,90	2,30	1,25	181	10,0	40,1	40,3	26
50	+0,30	2,00	2,40	1,00	145	12,5	50,1	50,3	31
50	+0,30	2,40	2,90	1,25	181	10,0	50,1	50,3	31
63	+0,30	1,60	2,00	0,63	91	20,0	63,1	63,3	38
63	+0,30	2,00	2,40	0,80	116	16,0	63,1	63,3	38
63	+0,30	2,50	3,00	1,00	145	12,5	63,1	63,3	38
63	+0,30	3,00	3,50	1,25	181	10,0	63,1	63,3	38
75	+0,30	1,90	2,30	0,63	91	20,0	75,1	75,3	44
75	+0,30	2,30	2,80	0,80	116	16,0	75,1	75,3	44
75	+0,30	2,90	3,40	1,00	145	12,5	75,1	75,3	44
90	+0,30	2,20	2,70	0,63	91	20,0	90,1	90,3	51
90	+0,30	2,80	3,30	0,80	116	16,0	90,1	90,3	51
90	+0,30	3,50	4,10	1,00	145	12,5	90,1	90,3	51
90	+0,30	4,30	5,00	1,25	181	10,0	90,1	90,3	51
110	+0,40	2,70	3,20	0,63	91	20,0	110,1	110,4	61
110	+0,40	3,40	4,00	0,80	116	16,0	110,1	110,4	61
110	+0,40	4,20	4,90	1,00	145	12,5	110,1	110,4	61
110	+0,40	5,30	6,10	1,25	181	10,0	110,1	110,4	61

Ilustración 15. Diámetros, espesores y presión de trabajo para tuberías de PVC de RIVAL.

Dadas las condiciones actuales en las que se encuentran la planta, como se indica en la siguiente ilustración, ahora se dispone de una carga de agua de entrada de 5.60 metros, a diferencia de los 3.10 metros que se disponía en el pasado, la cual favorece a la obtención de presiones positivas que garantizan un flujo continuo a lo largo de todo el floculador.



Ilustración 16. Zona de emplazamiento del floculador

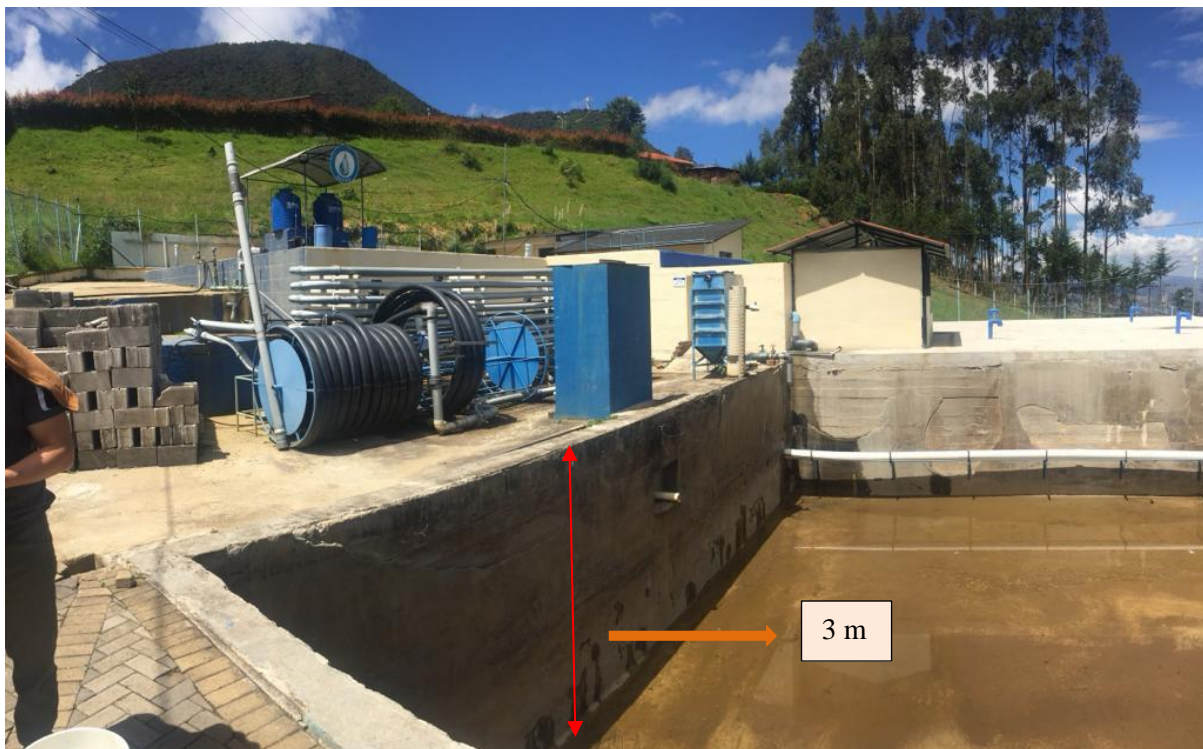


Ilustración 17. Desnivel de 3 metros que favorecen a la carga total de entrada del floculador.

En base a estas consideraciones se obtuvieron las soluciones que se detalla a continuación.

5.1 ALTERNATIVA GEOMETRICA 1 EN FUNCION DEL CAUDAL ENTRANTE.

En todo su trayecto consta con un solo diámetro de tubería de 90mm, con tubos de PVC de 2m de alto y tuberías horizontales de 6m de longitud, el cual consta de 14 vueltas con una longitud total de tubería de $L_2=235.50$ metros para caudales mayores, es decir superiores a 0.75 l/s, y también, cuando el caudal llega a su valor más bajo (0.5 l/s) da un recorrido de 7 vueltas con una longitud de tubería $L_1=128.30$ metros, en donde al restante de vueltas no circula, no obstante, se conecta directamente a la salida del floculador mediante sus respectivas aperturas y cierres de válvulas, el modelo se indica en la siguiente ilustración.

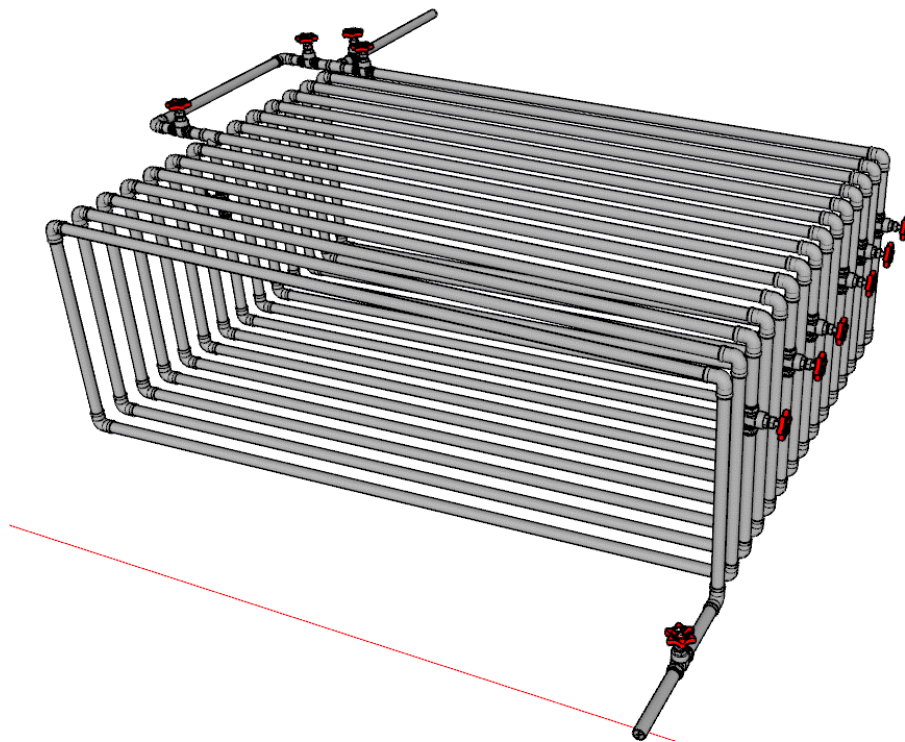


Ilustración 18. Modelo hidráulico para la solución 1.

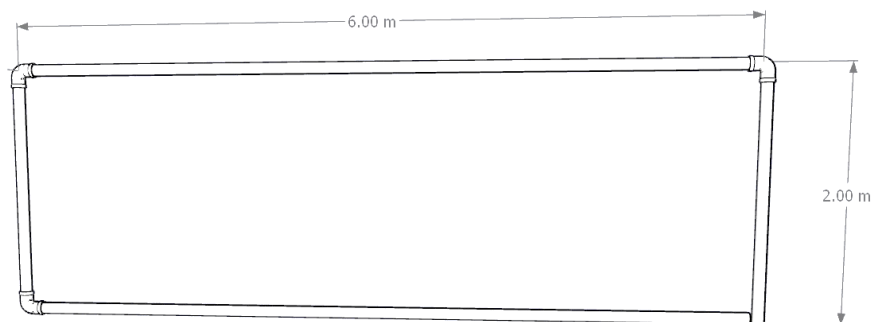


Ilustración 19. Geometría por vuelta para la solución 1.

Cabe recalcar que, para caudales que se encuentren entre 0.5 – 1.0 L/s el modelo planteado funciona normalmente para el sistema de 7 vueltas, satisfaciendo los valores de tiempos de retención y gradiente de velocidad a cumplir, sin embargo, hay que considerar que la velocidad se encuentra en el límite inferior que recomienda Arboleda (0.10 m/s) por lo tanto se debería realizar controles por parte de los operadores para evitar que los flóculos se asienten debido al bajo flujo. Además, el sistema completo de 14 vueltas es diseñado para operar normalmente con caudales desde 1.0 L/s, pero no se producen inconvenientes si se trabaja con caudales desde 0.75 L/s, donde los parámetros hidráulicos a cumplir se encuentran dentro de los límites tolerables para garantizar un proceso de floculación adecuado. Lo antes mencionado se resume en la siguiente tabla:

Longitud anterior (m)	Caudal (L/s)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Pérdidas totales Darcy-Weisbach (m)	Tiempo teórico (min)	Gradiente de velocidad (1/s)
175.50	0.50	85.10	0.10	128.30	0.027	24.3	12.4
	0.75	85.10	0.13	128.30	0.055	16.2	21.8
	0.75	85.10	0.13	235.50	0.098	29.8	21.4
	1.00	85.10	0.18	128.30	0.093	12.2	32.7
	1.00	85.10	0.18	235.50	0.165	22.3	32.1
	1.50	85.10	0.26	235.50	0.344	14.9	56.8
	2.00	85.10	0.35	235.50	0.582	11.2	85.3

Tabla 7. Parámetros de velocidad, tiempo de retención y gradiente de velocidad que satisfacen los rangos esperados para la solución 1.

5.2 ALTERNATIVA GEOMETRICA 2 EN FUNCION DEL CAUDAL ENTRANTE.

Se basa en un modelo donde tenemos una combinación de dos diámetros, tanto de 75mm como de 90mm, al igual que la solución 1, consta de tuberías de 2m de longitud de forma vertical y tuberías de 6m horizontalmente.

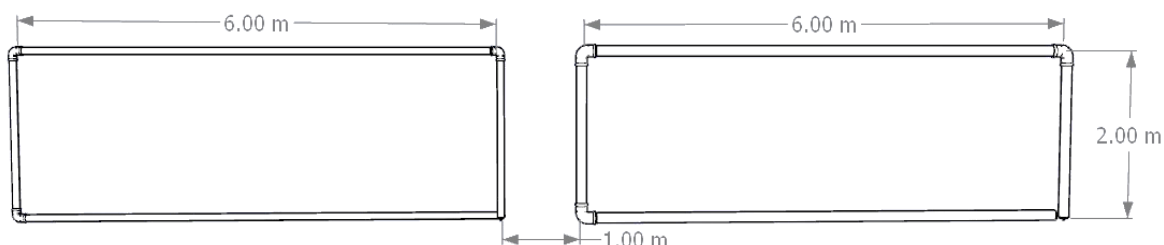
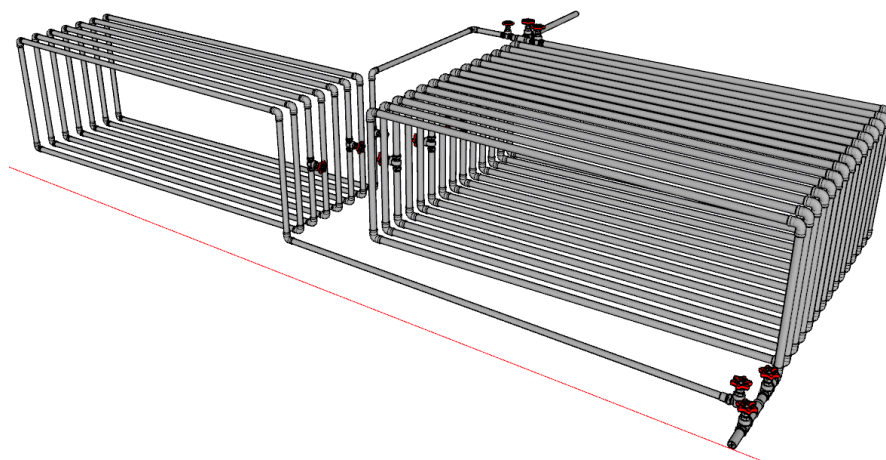


Ilustración 20. Geometría por vuelta para la solución 2.

Cada configuración se divide independientemente, pero de manera inmediata en la parte inicial del floculador, si el caudal es mayor a 0.75 l/s entra a la configuración de diámetro

90mm, el cual recorre 14 vueltas, pero si el caudal está en el extremo inferior (0.5 – 0.75 l/s) entra a la configuración de diámetro 75mm, dando 7 vueltas, con sus respectivas válvulas para mantenimiento, donde finalmente se conecta a la salida del floculador.



Todos los parámetros hidráulicos a cumplir en el proceso de floculación se detallan en la siguiente tabla.

Longitud anterior (m)	Caudal (L/s)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Pérdidas totales Darcy-Weisbach (m)	Tiempo teórico (min)	Gradiente de velocidad (1/s)
175.50	0.50	70.80	0.13	129.00	0.059	16.9	22.1
	0.75	70.80	0.19	129.00	0.123	11.3	39.0
	0.75	85.10	0.13	235.50	0.096	29.8	21.2
	1.00	85.10	0.18	235.50	0.162	22.3	31.8
	1.50	85.10	0.26	235.50	0.337	14.9	56.2
	2.00	85.10	0.35	235.50	0.569	11.2	84.3

Tabla 8. Parámetros de velocidad, tiempo de retención y gradiente de velocidad que satisfacen los rangos esperados para la solución 2.

5.3 ALTERNATIVA GEOMETRICA 3 EN FUNCION DEL CAUDAL ENTRANTE.

Esta alternativa consta de una configuración semejante a la solución 1 pero cambiando las longitudes de las tuberías en cada sentido, 2m para las tuberías horizontales y 6m para las tuberías verticales, trabajando igualmente con 14 vueltas de tubería para caudales mayores a 0.75 L/s y para caudales que se encuentren entre 0.5 y 0.75 L/s, se opera únicamente con 8 vueltas. Es importante mencionar que esta alternativa se realizó considerando que en el emplazamiento del floculador se va a excavar una profundidad de 1.50 metros, dando como carga total a la entrada del floculador de 7.10 metros, a diferencia de los 5.60 metros que se consideró para las soluciones 1 y 2.

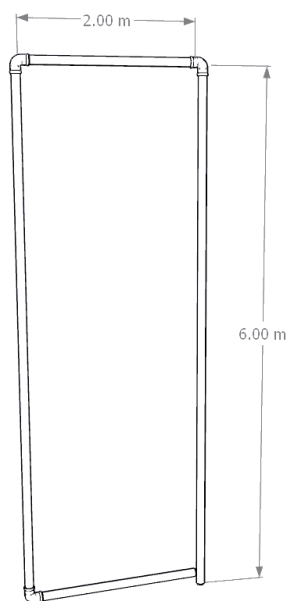


Ilustración 22. Geometría por vuelta para la solución 3.

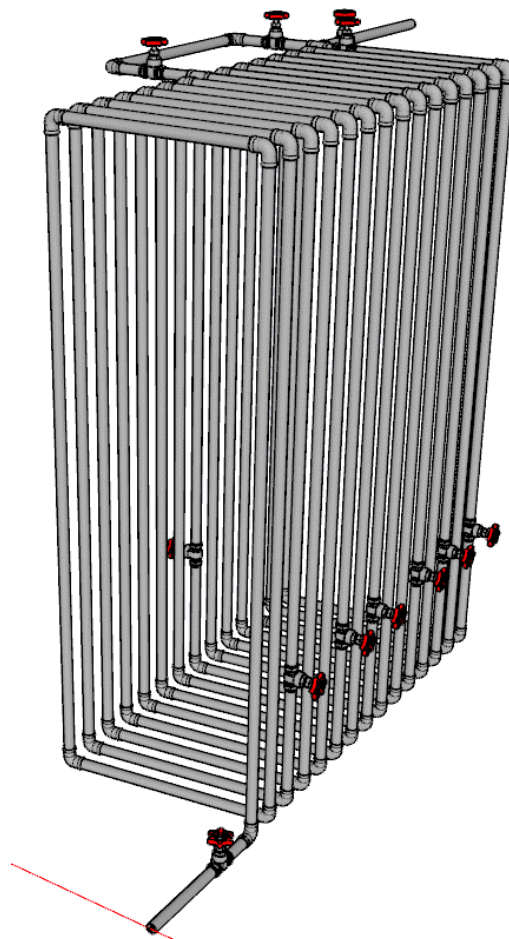


Ilustración 23. Modelo hidráulico para la solución 3.

Todos los parámetros hidráulicos a cumplir en el proceso de floculación se detallan en la siguiente tabla.

Longitud anterior (m)	Caudal (L/s)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Pérdidas totales Darcy-Weisbach (m)	Tiempo teórico (min)	Gradiente de velocidad (1/s)
175.50	0.50	85.10	0.10	128.30	0.027	24.3	12.4
	0.75	85.10	0.13	128.30	0.055	16.2	21.8
	0.75	85.10	0.13	235.50	0.098	29.8	21.4
	1.00	85.10	0.18	128.30	0.093	12.2	32.7
	1.00	85.10	0.18	235.50	0.165	22.3	32.1
	1.50	85.10	0.26	235.50	0.344	14.9	56.8
	2.00	85.10	0.35	235.50	0.582	11.2	85.3

Tabla 9. Parámetros de velocidad, tiempo de retención y gradiente de velocidad que satisfacen los rangos esperados para la solución 3.

CAPITULO VI

6. DISCUSION - ANALISIS DE EFICIENCIA HIDRAULICA DE LAS ALTERNATIVAS GEOMETRICAS PROPUESTAS.

6.1 ANALISIS DE LA EFICIENCIA HIDRAULICA DEL FLOCULADOR CONSTRUIDO INICIALMENTE.

Para la determinación de la eficiencia del floculador existente se considera únicamente los valores de las presiones en cada uno de los nodos, y al tener presiones negativas se determina directamente como deficiente el funcionamiento del mismo, a continuación, se detalla en la siguiente tabla:

Modelo	Caudal (L/s)	Diámetro interno (mm)	Longitud (m)	Energía al ingreso (mca)	Pérdidas totales Darcy-Weisbach (mca)	Energía a la salida (mca)	Eficiencia
Floculador Existente	0,50	63 mm y 110 mm	175,50	3,09	0,111	-0,01	0%
	1,00	63 mm y 110 mm	175,50	3,07	0,397	-0,30	0%
	1,50	63 mm y 110 mm	175,50	3,05	0,844	-0,74	0%
	2,00	63 mm y 110 mm	175,50	3,01	1,447	-1,34	0%

Tabla 10. Eficiencia hidráulica para el floculador existente.

6.2 ANALISIS DE LA EFICIENCIA HIDRAULICA DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.

Para las soluciones propuestas se determina las eficiencias hidráulicas en función de los tiempos de retención y los gradientes hidráulicos para cada uno de los caudales el cual fue sujeto de estudio, considerando los valores deseados para que los modelos funcionen con un rendimiento del 95%, es decir que se definió un 5% de nivel de confianza. Entonces para determinar la eficiencia en función del tiempo de retención, a continuación, se definen el tiempo para determinar los errores absolutos y relativos.

Tiempo de retención deseado = 20 minutos

Solución	Caudal (L/s)	Energía a la salida (mca)	Tiempo teórico (min)	Gradiente de velocidad (1/s)	Error absoluto (m)	Error relativo %	Eficiencia por tiempo de retención
Alternativa 1	0,50	3,39	24,3	12,4	4,3	22%	73%
	0,75	3,49	29,8	21,4	9,8	49%	46%
	1,00	3,42	12,2	32,7	7,8	39%	56%
	1,00	3,43	22,3	32,1	2,3	12%	83%
	1,50	3,25	14,9	56,8	5,1	26%	69%
	2,00	3,01	11,2	85,3	8,8	44%	51%
Alternativa 2	0,50	3,36	16,9	22,1	3,1	15%	80%
	0,75	3,45	11,3	39,0	8,7	44%	51%
	0,75	3,48	29,8	21,2	9,8	49%	46%
	1,00	3,43	22,3	31,8	2,3	12%	83%
	1,50	3,25	14,9	56,2	5,1	26%	69%
	2,00	3,02	11,2	84,3	8,8	44%	51%
Alternativa 3	0,50	1,03	24,3	12,4	4,3	22%	73%
	0,75	1,00	29,8	21,4	9,8	49%	46%
	1,00	0,77	12,2	32,7	7,8	39%	56%
	1,00	0,93	22,3	32,1	2,3	12%	83%
	1,50	0,74	14,9	56,8	5,1	26%	69%
	2,00	0,51	11,2	85,3	8,8	44%	51%

Tabla 11. Eficiencia hidráulica en función del tiempo de retención para todas las soluciones.

Como se observa en la Tabla 10, las celdas resaltadas de naranja son los valores que presentan mayor eficiencia de funcionamiento, por lo tanto, a continuación, se indica los

caudales a los que estas eficiencias están ligadas.

Solución	Caudal (L/s)	Eficiencia por tiempo de retención
Alternativa 1	0,50	73%
	0,75	76%
	0,75	46%
	1,00	56%
	1,00	83%
	1,50	69%
	2,00	51%
Alternativa 2	0,50	80%
	0,75	51%
	0,75	46%
	1,00	83%
	1,50	69%
	2,00	51%
Alternativa 3	0,50	73%
	0,75	76%
	0,75	46%
	1,00	56%
	1,00	83%
	1,50	69%
	2,00	51%

Tabla 12. Caudales que presentan mejor eficiencia de floculación.

Lo cual indica que los mejores caudales de operación están entre los valores de [1.0-1.5]L/s, [1.0-1.5]L/s, [1.0-2.0]L/s para las alternativas 1, 2 y 3 respectivamente.

De la misma manera se determina la eficiencia en función del gradiente de velocidad para cada una de las alternativas en términos del caudal de ingreso, para ello se define el gradiente de velocidad esperado para que el floculador funcione a un 95% con un nivel de confianza del 5%.

$$\text{Gradiente de velocidad deseado} = 60 \text{ s}^{-1}$$

Solución	Caudal (L/s)	Energía a la salida (mca)	Tiempo teórico (min)	Gradiente de velocidad (1/s)	Error absoluto (m)	Error relativo %	Eficiencia por gradiente de velocidad
Alternativa 1	0,50	3,39	24,3	12,4	47,6	79%	16%
	0,75	1,93	16,2	21,8	38,2	64%	31%
	0,75	3,49	29,8	21,4	38,6	64%	31%
	1,00	3,42	12,2	32,7	27,3	46%	49%
	1,00	3,43	22,3	32,1	27,9	47%	48%
	1,50	3,25	14,9	56,8	3,2	5%	90%
	2,00	3,01	11,2	85,3	25,3	42%	53%
Alternativa 2	0,50	3,36	16,9	22,1	37,9	63%	32%
	0,75	3,45	11,3	39,0	21,0	35%	60%
	0,75	3,48	29,8	21,2	38,8	65%	30%
	1,00	3,43	22,3	31,8	28,2	47%	48%
	1,50	3,25	14,9	56,2	3,8	6%	89%
	2,00	3,02	11,2	84,3	24,3	41%	54%
	Alternativa 3	0,50	1,03	24,3	12,4	47,6	79%
0,75		1,00	29,8	21,4	38,6	64%	31%
1,00		0,77	12,2	32,7	27,3	46%	49%
1,00		0,93	22,3	32,1	27,9	47%	48%
1,50		0,74	14,9	56,8	3,2	5%	90%
2,00		0,51	11,2	85,3	25,3	42%	53%

Tabla 13. Eficiencia hidráulica en función del gradiente de velocidad para todas las soluciones.

Como se observa en la Tabla 12, las celdas resaltadas de naranja son los valores que presentan mayor eficiencia de funcionamiento, por lo tanto, a continuación, se indica los caudales a los que estas eficiencias están ligadas.

Solución	Caudal (L/s)	Eficiencia por gradiente
Alternativa 1	0,50	16%
	0,75	31%
	0,75	31%
	1,00	49%
	1,00	48%
	1,50	90%

	2,00	53%
Alternativa 2	0,50	32%
	0,75	30%
	1,00	48%
	1,50	89%
	2,00	54%
Alternativa 3	0,50	16%
	0,75	31%
	1,00	49%
	1,00	48%
	1,50	90%
	2,00	53%

Tabla 14. Caudales que presentan mejor eficiencia de floculación.

Lo cual indica que los mejores caudales de operación están entre los valores de [1.0-1.5]L/s, [1.0-1.5]L/s, [1.0-2.0]L/s para las alternativas 1, 2 y 3 respectivamente, al igual que en la tabla 11.

6.3 COMPARACION DE EFICIENCIAS ENTRE EL FLOCULADOR CONSTRUIDO EN CAMPO Y LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS

En la siguiente tabla se indica las eficiencias para cada una de las alternativas, pero como se afirmó anteriormente las eficiencias para el modelo existente en la planta de Bayas es de 0% y esto debido a que para todos los caudales se generaban presiones negativas en ciertos nodos del floculador, evitando el continuo flujo de agua.

Solución	Caudal (L/s)	Energía a la salida (mca)	Tiempo teórico (min)	Gradiente de velocidad (1/s)	Eficiencia por tiempo de retención	Eficiencia por gradiente
Floculador Existente	0,50	-0,01	55,6	16,7	0%	0%
	1,00	-0,30	9,1	77,9	0%	0%
	1,50	-0,74	6,1	139,2	0%	0%
	2,00	-1,34	4,6	210,4	0%	0%
Alternativa 1	0,50	3,39	24,3	12,4	73%	16%
	0,75	1,93	16,2	21,8	76%	31%
	0,75	3,49	29,8	21,4	46%	31%
	1,00	3,42	12,2	32,7	56%	49%
	1,00	3,43	22,3	32,1	83%	48%
	1,50	3,25	14,9	56,8	69%	90%

	2,00	3,01	11,2	85,3	51%	53%
Alternativa 2	0,50	3,36	16,9	22,1	80%	32%
	0,75	3,45	11,3	39,0	51%	60%
	0,75	3,48	29,8	21,2	46%	30%
	1,00	3,43	22,3	31,8	83%	48%
	1,50	3,25	14,9	56,2	69%	89%
	2,00	3,02	11,2	84,3	51%	54%
Alternativa 3	0,50	1,03	24,3	12,4	73%	16%
	0,75	---	16,2	21,8	76%	31%
	0,75	1,00	29,8	21,4	46%	31%
	1,00	0,77	12,2	32,7	56%	49%
	1,00	0,93	22,3	32,1	83%	48%
	1,50	0,74	14,9	56,8	69%	90%
	2,00	0,51	11,2	85,3	51%	53%

Tabla 15. Comparación de eficiencias del floculador existente y las alternativas de solución.

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el marco de este estudio, se ha concebido la tarea de llevar a cabo un análisis numérico exhaustivo que evalúe la eficiencia hidráulica en diversas configuraciones geométricas de floculadores tubulares. Asimismo, de comprender los patrones hidráulicos que caracterizan a estas distintas configuraciones geométricas y examinar en detalle su eficiencia hidráulica. Este análisis incluye la evaluación de la distribución de presiones, velocidades, gradientes y tiempos de retención dentro de los floculadores, y se realiza mediante el uso de un programa computacional especializado. Los resultados de este estudio se utilizarán para establecer recomendaciones constructivas fundamentales que contribuirán al óptimo funcionamiento de los floculadores. Estas recomendaciones serán esenciales para garantizar que los floculadores cumplan su función de manera eficaz, proporcionando un proceso de tratamiento de agua más eficiente y sostenible en beneficio de la comunidad.

7.1 CONCLUSIONES

El floculador tubular actual de 63 mm y 90 mm de diámetro que se encuentra ubicado en la planta de tratamiento de la comunidad de Bayas tiene varias falencias; primero, los parámetros hidráulicos que deben cumplir para garantizar una adecuada floculación no satisfacen los rangos permisibles para caudales menores y mayores a 1.0 L/s, además que se generan presiones negativas en sus nodos; y segundo, los parámetros hidráulicos a cumplir son acertados para un único caudal de 1.0 L/s, sin embargo se obtiene presiones negativas dando lugar a una operación ineficiente del floculador, siendo inviable su funcionamiento.

En el floculador tubular actual de 63 mm y 90 mm con una longitud total de 175.50 metros se obtiene que, para los caudales de 0.5 L/s, 1.5 L/s y 2.0 L/s dan como resultado tiempos de retención de 55.6min, 6.1min y 4.6min respectivamente, los cuales no se encuentran dentro del rango permitido para garantizar la floculación [10 - 30] minutos. De la misma manera, para los caudales mencionados se obtuvieron gradientes de velocidad de 16.7 s⁻¹, 139.2 s⁻¹ y 210.4 s⁻¹ correspondientemente, donde debe situarse en el rango de [10 - 100]s⁻¹, cumpliendo únicamente para el caudal menor; por otro lado, los valores de velocidad obtenidos son 0.05m/s, 0.48m/s y 0.64m/s, los cuales deben regirse al rango [0.10 - 0.60]m/s, cumpliendo exclusivamente para el segundo caudal, no obstante, es insuficiente ya que se necesita satisfacer tiempo de retención, gradiente y velocidad conjuntamente para que el floculador funcione correctamente.

La energía total de 3.10 metros para que funcione a gravedad el floculador tubular actual de 63 mm y 90 mm de diámetro es muy baja, lo cual no permite que el flujo circule normalmente desde las tuberías P-70, P-14, P-6 y P-2, para caudales de 0.5 L/s, 1.0 L/s, 1.5 L/s y 2.0 L/s respectivamente, dando lugar a presiones negativas, haciendo que todo el sistema tubular no sea funcional, por tanto, la carga inicial deberá garantizar el correcto funcionamiento de inicio a fin, y esto es considerando todas las pérdidas ya sean por cambios de dirección, válvulas, fricción de la tubería, etc.

Para la solución 1 que consiste en un sistema tubular de 90mm, con una longitud inicial $L_1=128.30$ m, se obtiene que, para los caudales de 0.5 L/s, 0.75 L/s y 1.0 L/s dan como resultado tiempos de retención de 24.3min, 16.2min, y 12.2min respectivamente, satisfaciendo el intervalo permitido. A su vez para los mismos caudales se obtuvieron gradientes de velocidad de 12.4 s⁻¹, 21.8 s⁻¹ y 32.7 s⁻¹, además, las velocidades obtenidas son 0.1m/s, 0.13m/s y 0.18m/s, lo cual garantiza un adecuado proceso de floculación. Ahora, considerando la longitud $L_2=235.50$ m, se obtiene que para los caudales de 0.75 L/s, 1.0L/s, 1.5L/s y 2.0L/s, dan como resultado tiempos de retención de 29.8min, 22.3min, 14.9min y 11.2 min, valores que se encuentran dentro el rango, así mismo para los caudales mencionados se obtuvieron gradientes de velocidad de 21.4, 32.1, 56.8 y 85.3, y finalmente, las velocidades resultantes fueron de 0.13m/s, 0.18m/s, 0.26m/s y 0.35m/s, demostrando que la solución planteada es válida.

Para la solución 2 que consiste en un sistema tubular de 75mm, con una longitud inicial $L_1=129.0$ m, se obtiene que, para los caudales de 0.5 L/s y 0.75L/s dan como resultado tiempos de retención de 16.9min, y 11.3min respectivamente, encontrándose dentro del rango aceptable. A su vez para los mismos caudales se obtuvieron gradientes de velocidad de 22.1 s⁻¹, y 39.0 s⁻¹, al mismo tiempo, las velocidades obtenidas son 0.13m/s y 0.19m/s, favoreciendo a la floculación. Ahora, considerando la longitud $L_2=235.50$ m, que es un sistema de tuberías paralelo e independiente, se obtiene que para los caudales de 0.75 L/s, 1.0L/s, 1.5L/s y 2.0L/s, dan como resultado tiempos de retención de 29.8min, 22.3min, 14.9min y 11.2 min, así mismo para los caudales mencionados se obtuvieron gradientes de velocidad de 21.2, 31.8, 56.2 y 84.3, por último, las velocidades resultantes fueron de 0.13m/s, 0.18m/s, 0.26m/s y 0.35m/s, validando la solución propuesta.

Para la solución 3 se mantiene el mismo criterio que la solución 1 en términos de los parámetros hidráulicos a cumplir para el proceso de floculación, esto debido a que su geometría es idéntica, proporcionando resultados iguales en tiempos de retención, gradientes de velocidad y velocidades de flujo, con la diferencia que, para este modelo se consideró una

carga-energía en la entrada al floculador de 7.10 metros, distinto de la solución 1 que se consideró una carga-energía en la entrada de 5.6 metros, es decir se propuso realizar una excavación en el área de emplazamiento de 1.50 metros para garantizar la energía mencionada.

El floculador actual presenta gran deficiencia operativa (0%), obtenido mediante el modelamiento en WaterCAD, debido a que para cada caudal de funcionamiento se generan presiones negativas. Para las soluciones 1, 2 y 3 se obtuvieron eficiencias en función del tiempo de retención de [56 - 83]%, [69 - 83]% y [51 - 83]% respectivamente, y eficiencias en términos de gradientes de velocidad de [48 - 90]%, [48- 89]% y [48 - 90]%, por esta razón se considera que todas las soluciones propuestas son válidas para su funcionamiento.

7.2 RECOMENDACIONES

De las alternativas planteadas, se recomienda la instalación de la solución 1, porque se dispone de un solo diámetro (90mm) a lo largo de su trayecto, a diferencia de la solución 2 que dispone de una longitud de tubería más larga (excedente de 120.7m), con 2 diámetros de tubería (75mm y 90mm) en paralelo, que podría perjudicar a su ensamblaje, disponibilidad de materiales y costos de los mismos; mientras que, si la comparamos con la solución 3, esta requiere realizar un pequeño movimiento de tierras (excavación), la cual repercute en la economía del proyecto.

Si los usuarios optan por construir la solución 1, se debe considerar que si se dispone una caudal menor o igual a 0.75 L/s, se debe utilizar la longitud de tubería $L_1=128.30$ m, esto es manipulando las válvulas correspondientes, pero si se dispone de un caudal mayor a 0.75 L/s se recomienda usar la longitud de tubería $L_2=235.50$ m.

Si se elige la solución 2, se debe tener en cuenta que si al sistema llega un caudal menor o igual que 0.75 L/s se utilice el tramo de tubería de 75 mm con una longitud de 129.0 m, mientras que, si llega un caudal superior al mencionado, el floculador debe ser operado con la tubería de 90mm y longitud de 235.50 m.

Si se opta por la solución 3, se recomienda que, al momento de realizar la excavación del terreno para el emplazamiento del floculador, se tome las medidas en cuanto a la nivelación y estabilidad del suelo.

Se debe reubicar el nuevo floculador propuesto para que exista la energía suficiente, es decir colocar en una zona donde tenga el suficiente espacio y la carga sea mayor, se recomienda instalar en el espacio vacío como se indica en la ilustración 17, donde se muestra un desnivel de 3.0 metros con el propósito de que cumpla la presión de inicio a fin del floculador y funcione de manera óptima para todos los caudales de estudio.

Al realizar los modelos en base a un amplio rango de caudales, esto no quiere decir que, no se tenga un control, pues los operarios deben estar pendientes a los límites de los caudales como 0.5 L/s, ya que, por debajo del mismo, el floculador ya no funcionaría de manera adecuada si sobrepasa un valor de 0.40 L/s, de igual manera para caudales mayores a 2.0 L/s, su máxima tolerancia llegaría a 2.20 L/s, pues si bien realizamos una solución, al no respetar este rango estaríamos brindando un mal servicio de floculación, por ende un incorrecto tratamiento de agua potable.

Este modelo implementado para la floculación, es muy eficiente para pequeñas poblaciones, ya que hay varias consideraciones, pero una muy importante es la parte económica, es decir,

realizar un floculador convencional es mucho más costoso que el analizado, tanto en materiales, mano de obra, tiempo y área de emplazamiento. El modelo es ideal por su requerimiento de bajos recursos que, en nuestro medio, en varias comunidades de nuestro país carecen de esa situación y por esta razón las soluciones propuestas dan un rendimiento excelente a un costo accesible.

Al momento de llevarlo el modelo a la construcción en campo, es decir, montar las tuberías, codos, válvulas, etc. Se debe realizar de una manera correcta, tratando siempre que estas longitudes propuestas sean las indicadas en este trabajo, ya que cualquier variación al modelo a colocar, podría variar en cuanto a los requerimientos y a energías del mismo, por lo tanto, se recomienda seguir de manera rigurosa las dimensiones planteadas de las soluciones.

Referencias

- Arboleda, E. (2000). Floculadores hidráulicos para el mejoramiento de la calidad del agua. *Revista EIA*, 5(5), 119-133.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (Vol. 1). Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Arboleda Valencia, J. (1972). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Lima - Perú: CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). Obtenido de <https://www.ircwash.org/node/60513>
- Blanco, FM (2018). *Mecánica de fluidos* (8ª ed.). Educación McGraw-Hill.
- Carrillo, F., Benítez, N., & González, J. (2019). Coagulation and flocculation in water treatment. *Water*, 11(4), 756.
- Cengel, YA y Cimbala, JM (2014). *Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*. Educación McGraw-Hill.
- Chen, Z., Shao, Z., Zhang, H., & Zhang, H. (2018). Effects of water temperature and pH value on flocculation sedimentation of kaolin particles. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 584-589.
- Côté, P., Doré, MH y Barbeau, B. (2004). Diseño y evaluación de un floculador hidráulico para tratamiento de agua. *Tecnología ambiental*, 25(12), 1401-1411.
- García, AJ, Bustinza, JS y Loredó, J. (2017). Floculación neumática para el tratamiento de agua en una planta depuradora. *Estudios de casos en ingeniería térmica*, 9, 95- 99.
- Ghajar, AJ (2015). *Manual de diseño de intercambiadores de calor*. Prensa CRC.
- Gupta, A. D., Patil, R. T., & Ingle, R. V. (2017). Study of mechanical flocculator in water treatment. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 6(7), 547-550.
- Jeong, S., Kim, D., Lee, S., Lee, Y. y Cho, J. (2006). Efecto de las condiciones hidráulicas sobre la mezcla y colisión de partículas en un estanque de floculación. *Investigación del agua*, 40(13), 2527-2534.
- Johnson, M. P., Perez, J. R., & Anderson, K. L. (2018). Application of mechanical flocculation for improved settling of activated sludge. *Water Research*, 128, 364-372.
- Kumar, A., Kumar, A., Kumar, S., & Gope, P. C. (2020). Design and fabrication of mechanical flocculator for water treatment. *Materials Today: Proceedings*, 21, 2101-2105.
- Kurian, P., Paul, T. y Paul, J. (2019). Análisis del rendimiento de un floculador mediante simulación de dinámica de fluidos computacional. *Materiales hoy: Actas*, 18, 5511-5517.
- Moral, M., & Sagal, M. (2019). Optimización de los procesos de coagulación, floculación y cloración en la Junta Administradora de Agua Potable Regional Bayas. Universidad de Cuenca.
- Patel, R. K., Patel, K. S., & Patel, R. B. (2020). Hydraulic flocculator as an innovative technique for water treatment. *Materials Today: Proceedings*, 33, 869-872.

- Patil, PN, More, ND y Deshpande, VS (2018). Artículo de revisión sobre distribución de flujo y análisis de caída de presión en floculador. *Revista Internacional de Investigación en Ingeniería y Tecnología*, 7(3), 7-11.
- Raju, S. N., Narasimha, V. L., & Prasad, D. R. (2019). Flocculation mechanism study in a mechanical flocculator. *Materials Today: Proceedings*, 18, 4882-4886.
- Romero Rojas, J. (1999). *POTABILIZACION DEL AGUA*. México - México: Alfaomega.
- Sánchez Merlo, FJ (2019). Evaluación del sistema de distribución de agua potable de la comunidad Pampacolca, Arequipa, 2006. Instituto de Investigación Geológico, Minero, Metalúrgico, Metalúrgico, Petrolero y Nuclear.
- Singh, J., Gupta, S. K., & Kumar, A. (2018). Performance analysis of hydraulic flocculator in water treatment. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 11(8), 1164-1167.
- Smith, B. y Hashemi, A. (2019). *Ingeniería de agua y aguas residuales: principios y práctica de diseño*. Wiley.
- Smith, J. R., Williams, A. B., & Brown, C. D. (2019). Mechanical flocculation of fine sediment particles in water using a turbine stirrer. *Chemical Engineering Journal*, 358, 549-556.
- Streeter, VL, Wylie, EB y Bedford, KW (2012). *Mecánica de fluidos (9ª ed.)*. Educación McGraw-Hill.
- Tchobanoglous, G., Burton, FL y Stensel, HD (2014). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento y Recuperación de Recursos*. Educación McGraw-Hill.
- Todreas, NE y Kazimi, MS (2011). *Sistemas nucleares Volumen I: Fundamentos termo hidráulicos*. Prensa CRC.
- Turovskiy, IS y Mathai, PK (2014). *Procesamiento de lodos de aguas residuales*. John Wiley e hijos.
- Wang, L., Liu, R., Gao, B. y Yue, Q. (2020). Cinética de coagulación-floculación en el tratamiento de agua y aguas residuales: una revisión crítica. *Revista de ingeniería química*, 401, 126122.

Anexos

Anexo A. Resultados obtenidos de WaterCAD para el floculador existente con tubería de 63mm y 110 mm para un caudal de 0.50 L/s.

- Longitud de la tubería = 175,50 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
1	R-1	N-1	63	PVC	10,00	0,50	0,16	0,0069	62	30,49	3,09
2	N-1	N-2	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	0,09
3	N-2	N-3	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	0,09
4	N-3	N-4	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	3,08
5	N-4	N-5	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0020	3	73,28	3,08
6	N-5	N-6	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	0,08
7	N-6	N-7	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	0,08
8	N-7	N-8	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	3,07
9	N-8	N-9	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	3,07
10	N-9	N-10	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0036	19	40,19	0,08
11	N-10	N-11	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	0,07
12	N-11	N-12	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	3,07

13	N-12	N-13	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	3,07
14	N-13	N-14	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	0,07
15	N-14	N-15	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0020	3	73,28	0,07
16	N-15	N-16	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	3,06
17	N-16	N-17	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	3,06
18	N-17	N-18	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	0,06
19	N-18	N-19	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	0,06
20	N-19	N-20	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0036	19	40,19	3,05
21	N-20	N-21	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	3,05
22	N-21	N-22	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	0,05
23	N-22	N-23	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	0,05
24	N-23	N-24	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	3,04
25	N-24	N-25	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0020	3	73,28	3,04
26	N-25	N-26	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	0,05
27	N-26	N-27	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	0,05
28	N-27	N-28	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	3,04
29	N-28	N-29	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	3,04
30	N-29	N-30	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0036	19	40,19	0,04
31	N-30	N-31	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	0,04

32	N-31	N-32	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	3,03
33	N-32	N-33	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	3,03
34	N-33	N-34	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	0,03
35	N-34	N-35	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0020	3	73,27	0,03
36	N-35	N-36	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	3,02
37	N-36	N-37	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	3,02
38	N-37	N-38	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	0,02
39	N-38	N-39	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	0,02
40	N-39	N-40	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0036	19	40,19	3,01
41	N-40	N-41	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	3,01
42	N-41	N-42	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	0,02
43	N-42	N-43	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	0,02
44	N-43	N-44	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	3,01
45	N-44	N-45	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0020	3	73,28	3,01
46	N-45	N-46	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	0,01
47	N-46	N-47	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	0,01
48	N-47	N-48	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	3,00
49	N-48	N-49	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	3,00
50	N-49	N-50	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0036	19	40,19	0,00

51	N-50	N-51	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	0,00
52	N-51	N-52	63	PVC	3,00	0,50	0,16	0,0024	19	32,89	2,99
53	N-52	N-53	63	PVC	0,50	0,50	0,16	0,0008	3	46,55	2,99
54	N-53	N-54	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,31	0,00
55	N-54	N-55	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0002	10	13,40	0,00
56	N-55	N-56	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,30	2,99
57	N-56	N-57	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,16	2,99
58	N-57	N-58	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,30	0,00
59	N-58	N-59	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,16	0,00
60	N-59	N-60	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0003	57	6,85	2,99
61	N-60	N-61	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,16	2,99
62	N-61	N-62	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,30	0,00
63	N-62	N-63	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,16	0,00
64	N-63	N-64	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,30	2,99
65	N-64	N-65	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0002	10	13,40	2,99
66	N-65	N-66	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,31	0,00
67	N-66	N-67	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,14	0,00
68	N-67	N-68	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,31	2,99
69	N-68	N-69	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,14	2,99

70	N-69	N-70	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0003	57	6,85	-0,01
71	N-70	N-71	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,14	-0,01
72	N-71	N-72	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,31	2,99
73	N-72	N-73	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,14	2,99
74	N-73	N-74	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,31	-0,01
75	N-74	N-75	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0002	10	13,40	-0,01
76	N-75	N-76	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,30	2,99
77	N-76	N-77	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,16	2,99
78	N-77	N-78	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,30	-0,01
79	N-78	N-79	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,16	-0,01
80	N-79	N-80	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0003	57	6,85	2,99
81	N-80	N-81	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,14	2,99
82	N-81	N-82	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,30	-0,01
83	N-82	N-83	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0001	10	8,16	-0,01
84	N-83	N-84	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,30	2,99
85	N-84	N-85	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0002	10	13,40	2,99
86	N-85	N-final	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0002	57	5,31	-0,01
87	N-final	J-1	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0002	10	13,40	-0,01
88	J-1	J-2	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0003	57	6,85	2,99

89	J-2	J-3	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0002	10	13,40	2,99
90	J-3	J-4	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0003	57	6,85	-0,01
91	J-4	J-5	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0002	10	13,40	-0,01
92	J-5	J-6	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0003	57	6,85	2,98
93	J-6	J-7	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0002	10	13,40	2,98
94	J-7	J-8	110	PVC	3,00	0,50	0,05	0,0003	57	6,85	-0,01
95	J-8	J-9	110	PVC	0,50	0,50	0,05	0,0002	10	13,40	-0,01
96	J-9	J-10	110	PVC	1,00	0,50	0,05	0,0002	19	10,00	-0,01

Anexo B. Resultados obtenidos de WaterCAD para el floculador existente con tubería de 63mm y 110 mm para un caudal de 1.0 L/s.

- Longitud de la tubería = 175,50 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
1	R-1	N-1	63	PVC	10,00	1,00	0,32	0,0234	31	79,33	3,07
2	N-1	N-2	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	0,07
3	N-2	N-3	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,24	0,07
4	N-3	N-4	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	3,05

5	N-4	N-5	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0078	2	204,47	3,04
6	N-5	N-6	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	0,04
7	N-6	N-7	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	0,04
8	N-7	N-8	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	3,02
9	N-8	N-9	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	3,02
10	N-9	N-10	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0132	9	108,53	0,01
11	N-10	N-11	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	0,01
12	N-11	N-12	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	3,00
13	N-12	N-13	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	2,99
14	N-13	N-14	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	-0,01
15	N-14	N-15	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0078	2	204,47	-0,02
16	N-15	N-16	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	2,97
17	N-16	N-17	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	2,97
18	N-17	N-18	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	-0,04
19	N-18	N-19	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	-0,04
20	N-19	N-20	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0132	9	108,53	2,94
21	N-20	N-21	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	2,94
22	N-21	N-22	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	-0,06
23	N-22	N-23	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	-0,07

24	N-23	N-24	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	2,92
25	N-24	N-25	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0078	2	204,47	2,91
26	N-25	N-26	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	-0,09
27	N-26	N-27	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	-0,10
28	N-27	N-28	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	2,89
29	N-28	N-29	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	2,89
30	N-29	N-30	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0132	9	108,53	-0,12
31	N-30	N-31	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	-0,12
32	N-31	N-32	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	2,86
33	N-32	N-33	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	2,86
34	N-33	N-34	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	-0,14
35	N-34	N-35	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0078	2	204,47	-0,15
36	N-35	N-36	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	2,84
37	N-36	N-37	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	2,83
38	N-37	N-38	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	-0,17
39	N-38	N-39	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	-0,17
40	N-39	N-40	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0132	9	108,53	2,81
41	N-40	N-41	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	2,80
42	N-41	N-42	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	-0,20

43	N-42	N-43	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	-0,20
44	N-43	N-44	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	2,78
45	N-44	N-45	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0078	2	204,47	2,78
46	N-45	N-46	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	-0,23
47	N-46	N-47	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	-0,23
48	N-47	N-48	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	2,76
49	N-48	N-49	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	2,75
50	N-49	N-50	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0132	9	108,53	-0,25
51	N-50	N-51	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	-0,26
52	N-51	N-52	63	PVC	3,00	1,00	0,32	0,0084	9	86,65	2,73
53	N-52	N-53	63	PVC	0,50	1,00	0,32	0,0030	2	127,23	2,73
54	N-53	N-54	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	-0,27
55	N-54	N-55	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0008	5	37,50	-0,27
56	N-55	N-56	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	2,72
57	N-56	N-57	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	2,72
58	N-57	N-58	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	-0,27
59	N-58	N-59	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	-0,27
60	N-59	N-60	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0012	29	18,62	2,72
61	N-60	N-61	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	2,72

62	N-61	N-62	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	-0,27
63	N-62	N-63	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	-0,27
64	N-63	N-64	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	2,72
65	N-64	N-65	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0008	5	37,50	2,72
66	N-65	N-66	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	-0,27
67	N-66	N-67	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	-0,28
68	N-67	N-68	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	2,72
69	N-68	N-69	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	2,72
70	N-69	N-70	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0012	29	18,62	-0,28
71	N-70	N-71	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	-0,28
72	N-71	N-72	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	2,72
73	N-72	N-73	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	2,72
74	N-73	N-74	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	-0,28
75	N-74	N-75	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0008	5	37,50	-0,28
76	N-75	N-76	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	2,71
77	N-76	N-77	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	2,71
78	N-77	N-78	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	-0,28
79	N-78	N-79	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	-0,28
80	N-79	N-80	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0012	29	18,62	2,71

81	N-80	N-81	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	2,71
82	N-81	N-82	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	-0,28
83	N-82	N-83	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0003	5	22,41	-0,28
84	N-83	N-84	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	2,71
85	N-84	N-85	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0008	5	37,50	2,71
86	N-85	N-final	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0007	29	14,00	-0,29
87	N-final	J-1	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0008	5	37,50	-0,29
88	J-1	J-2	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0012	29	18,62	2,71
89	J-2	J-3	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0008	5	37,50	2,70
90	J-3	J-4	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0012	29	18,62	-0,29
91	J-4	J-5	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0008	5	37,50	-0,29
92	J-5	J-6	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0012	29	18,62	2,70
93	J-6	J-7	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0008	5	37,50	2,70
94	J-7	J-8	110	PVC	3,00	1,00	0,11	0,0012	29	18,62	-0,29
95	J-8	J-9	110	PVC	0,50	1,00	0,11	0,0008	5	37,50	-0,30
96	J-9	J-10	110	PVC	1,00	1,00	0,11	0,0009	10	27,76	-0,30

Anexo C. Resultados obtenidos de WaterCAD para el floculador existente con tubería de 63mm y 110 mm para un caudal de 1.5 L/s.

- Longitud de la tubería = 175,50 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
1	R-1	N-1	63	PVC	10,00	1,50	0,48	0,0482	21	139,33	3,05
2	N-1	N-2	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	0,03
3	N-2	N-3	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,81	0,03
4	N-3	N-4	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	3,00
5	N-4	N-5	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0173	1	373,19	2,99
6	N-5	N-6	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	-0,02
7	N-6	N-7	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	-0,03
8	N-7	N-8	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	2,95
9	N-8	N-9	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,81	2,94
10	N-9	N-10	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0282	6	194,74	-0,08
11	N-10	N-11	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	-0,09

12	N-11	N-12	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	2,89
13	N-12	N-13	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	2,88
14	N-13	N-14	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	-0,13
15	N-14	N-15	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0173	1	373,19	-0,15
16	N-15	N-16	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	2,83
17	N-16	N-17	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	2,82
18	N-17	N-18	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	-0,19
19	N-18	N-19	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	-0,20
20	N-19	N-20	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0282	6	194,74	2,77
21	N-20	N-21	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	2,76
22	N-21	N-22	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	-0,25
23	N-22	N-23	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	-0,26
24	N-23	N-24	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	2,72
25	N-24	N-25	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0173	1	373,19	2,70
26	N-25	N-26	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	-0,31
27	N-26	N-27	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	-0,31
28	N-27	N-28	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	2,66
29	N-28	N-29	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	2,66
30	N-29	N-30	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0282	6	194,74	-0,37

31	N-30	N-31	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	-0,37
32	N-31	N-32	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	2,60
33	N-32	N-33	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	2,60
34	N-33	N-34	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	-0,41
35	N-34	N-35	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0173	1	373,19	-0,43
36	N-35	N-36	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	2,54
37	N-36	N-37	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	2,54
38	N-37	N-38	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	-0,47
39	N-38	N-39	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,81	-0,48
40	N-39	N-40	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0282	6	194,74	2,49
41	N-40	N-41	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,81	2,48
42	N-41	N-42	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	-0,53
43	N-42	N-43	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	-0,54
44	N-43	N-44	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	2,44
45	N-44	N-45	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0173	1	373,19	2,42
46	N-45	N-46	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	-0,59
47	N-46	N-47	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	-0,60
48	N-47	N-48	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	2,38
49	N-48	N-49	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	2,37

50	N-49	N-50	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0282	6	194,74	-0,65
51	N-50	N-51	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	-0,66
52	N-51	N-52	63	PVC	3,00	1,50	0,48	0,0175	6	153,35	2,32
53	N-52	N-53	63	PVC	0,50	1,50	0,48	0,0066	1	229,80	2,31
54	N-53	N-54	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	-0,68
55	N-54	N-55	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0018	3	68,56	-0,68
56	N-55	N-56	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	2,31
57	N-56	N-57	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,61	2,31
58	N-57	N-58	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	-0,69
59	N-58	N-59	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,61	-0,69
60	N-59	N-60	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0026	19	33,53	2,30
61	N-60	N-61	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,61	2,30
62	N-61	N-62	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	-0,69
63	N-62	N-63	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,61	-0,69
64	N-63	N-64	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	2,30
65	N-64	N-65	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0018	3	68,56	2,30
66	N-65	N-66	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	-0,70
67	N-66	N-67	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,61	-0,70
68	N-67	N-68	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	2,29

69	N-68	N-69	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,61	2,29
70	N-69	N-70	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0026	19	33,53	-0,70
71	N-70	N-71	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,61	-0,70
72	N-71	N-72	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	2,29
73	N-72	N-73	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,61	2,29
74	N-73	N-74	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	-0,71
75	N-74	N-75	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0018	3	68,56	-0,71
76	N-75	N-76	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	2,28
77	N-76	N-77	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,61	2,28
78	N-77	N-78	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	-0,71
79	N-78	N-79	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,62	-0,71
80	N-79	N-80	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0026	19	33,53	2,28
81	N-80	N-81	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,61	2,28
82	N-81	N-82	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	-0,72
83	N-82	N-83	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0006	3	40,61	-0,72
84	N-83	N-84	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	2,28
85	N-84	N-85	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0018	3	68,56	2,27
86	N-85	N-final	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0014	19	24,81	-0,72
87	N-final	J-1	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0018	3	68,56	-0,72

88	J-1	J-2	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0026	19	33,53	2,27
89	J-2	J-3	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0018	3	68,56	2,27
90	J-3	J-4	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0026	19	33,53	-0,73
91	J-4	J-5	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0018	3	68,56	-0,73
92	J-5	J-6	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0026	19	33,53	2,26
93	J-6	J-7	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0018	3	68,56	2,26
94	J-7	J-8	110	PVC	3,00	1,50	0,16	0,0026	19	33,53	-0,74
95	J-8	J-9	110	PVC	0,50	1,50	0,16	0,0018	3	68,56	-0,74
96	J-9	J-10	110	PVC	1,00	1,50	0,16	0,0019	6	50,55	-0,74

Anexo D. Resultados obtenidos de WaterCAD para el floculador existente con tubería de 63mm y 110 mm para un caudal de 2.0 L/s.

- **Longitud de la tubería = 175,50 metros.**

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
1	R-1	N-1	63	PVC	10,00	2,00	0,64	0,0807	16	208,12	3,01
2	N-1	N-2	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	-0,01
3	N-2	N-3	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	-0,02

4	N-3	N-4	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	2,94
5	N-4	N-5	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0305	1	572,21	2,91
6	N-5	N-6	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	-0,11
7	N-6	N-7	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	-0,12
8	N-7	N-8	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	2,84
9	N-8	N-9	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	2,83
10	N-9	N-10	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0487	5	295,29	-0,21
11	N-10	N-11	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	-0,22
12	N-11	N-12	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	2,74
13	N-12	N-13	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	2,73
14	N-13	N-14	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	-0,29
15	N-14	N-15	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0305	1	572,21	-0,32
16	N-15	N-16	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	2,64
17	N-16	N-17	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	2,63
18	N-17	N-18	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	-0,39
19	N-18	N-19	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	-0,41
20	N-19	N-20	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0487	5	295,29	2,54
21	N-20	N-21	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	2,53
22	N-21	N-22	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	-0,50

23	N-22	N-23	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	-0,51
24	N-23	N-24	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	2,46
25	N-24	N-25	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0305	1	572,21	2,43
26	N-25	N-26	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	-0,60
27	N-26	N-27	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	-0,61
28	N-27	N-28	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	2,36
29	N-28	N-29	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	2,34
30	N-29	N-30	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0487	5	295,29	-0,70
31	N-30	N-31	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	-0,71
32	N-31	N-32	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	2,26
33	N-32	N-33	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	2,24
34	N-33	N-34	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	-0,78
35	N-34	N-35	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0305	1	572,21	-0,81
36	N-35	N-36	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	2,15
37	N-36	N-37	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	2,14
38	N-37	N-38	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	-0,88
39	N-38	N-39	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	-0,89
40	N-39	N-40	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0487	5	295,29	2,05
41	N-40	N-41	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	2,04

42	N-41	N-42	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	-0,98
43	N-42	N-43	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	-0,99
44	N-43	N-44	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	1,97
45	N-44	N-45	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0305	1	572,21	1,94
46	N-45	N-46	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	-1,08
47	N-46	N-47	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	-1,09
48	N-47	N-48	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	1,87
49	N-48	N-49	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	1,86
50	N-49	N-50	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0487	5	295,29	-1,18
51	N-50	N-51	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	-1,19
52	N-51	N-52	63	PVC	3,00	2,00	0,64	0,0296	5	230,30	1,77
53	N-52	N-53	63	PVC	0,50	2,00	0,64	0,0114	1	349,97	1,76
54	N-53	N-54	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	-1,24
55	N-54	N-55	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0031	2	105,24	-1,24
56	N-55	N-56	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	1,75
57	N-56	N-57	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	1,75
58	N-57	N-58	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	-1,25
59	N-58	N-59	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	-1,25
60	N-59	N-60	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0044	14	50,96	1,74

61	N-60	N-61	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	1,74
62	N-61	N-62	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	-1,26
63	N-62	N-63	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	-1,26
64	N-63	N-64	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	1,73
65	N-64	N-65	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0031	2	105,24	1,73
66	N-65	N-66	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	-1,27
67	N-66	N-67	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	-1,27
68	N-67	N-68	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	1,73
69	N-68	N-69	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	1,72
70	N-69	N-70	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0044	14	50,96	-1,27
71	N-70	N-71	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	-1,28
72	N-71	N-72	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	1,72
73	N-72	N-73	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	1,72
74	N-73	N-74	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	-1,28
75	N-74	N-75	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0031	2	105,24	-1,28
76	N-75	N-76	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	1,71
77	N-76	N-77	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	1,71
78	N-77	N-78	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	-1,29
79	N-78	N-79	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	-1,29

80	N-79	N-80	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0044	14	50,96	1,70
81	N-80	N-81	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	1,70
82	N-81	N-82	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	-1,30
83	N-82	N-83	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0011	2	61,99	-1,30
84	N-83	N-84	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	1,69
85	N-84	N-85	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0031	2	105,24	1,69
86	N-85	N-final	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0024	14	37,31	-1,31
87	N-final	J-1	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0031	2	105,24	-1,31
88	J-1	J-2	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0044	14	50,96	1,68
89	J-2	J-3	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0031	2	105,24	1,68
90	J-3	J-4	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0044	14	50,96	-1,32
91	J-4	J-5	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0031	2	105,24	-1,33
92	J-5	J-6	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0044	14	50,96	1,66
93	J-6	J-7	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0031	2	105,24	1,66
94	J-7	J-8	110	PVC	3,00	2,00	0,21	0,0044	14	50,96	-1,34
95	J-8	J-9	110	PVC	0,50	2,00	0,21	0,0031	2	105,24	-1,34
96	J-9	J-10	110	PVC	1,00	2,00	0,21	0,0034	5	77,39	-1,34

Anexo E. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 1 con un caudal de 0.5 L/s.

- Longitud de la tubería = 128,30 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas totales Darcy-Weisbach (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	0,50	0,10	0,0005	17	16,16	5,59
P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	3,59
P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	3,59
P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	5,59
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	5,59
P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	3,59
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	3,59
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	5,58

P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	5,58
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0006	23	14,99	3,59
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	3,58
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	5,58
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	5,58
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	3,58
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	3,58
P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	5,58
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	5,58
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	3,58
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	3,58
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	5,57
P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	5,57
P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0006	23	14,99	3,58
P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	3,58
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	5,57
P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	5,57
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	3,57
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	3,57

P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	5,57
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0011	68	11,51	5,57
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0006	23	14,99	3,57
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	6,00	0,50	0,10	0,0014	68	13,28	3,57
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	0,50	0,10	0,0005	23	12,97	3,39
P-64	N-60	N-61	85,1	PVC	2,80	0,50	0,10	0,0006	32	12,36	3,48
P-63	FCV-2	N-60	85,1	PVC	0,50	0,50	0,10	0,0002	6	18,15	3,48
P-62	N-31	FCV-2	85,1	PVC	0,50	0,50	0,10	0,0002	6	18,45	3,57
P-65	N-61	FCV-3	85,1	PVC	0,50	0,50	0,10	0,0002	6	18,45	3,48
P-66	FCV-3	N-59	85,1	PVC	0,50	0,50	0,10	0,0006	6	29,25	3,39

Anexo F. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 1 con un caudal de 0.75 L/s.

- Longitud de la tubería = 235,50 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	0,75	0,13	0,0011	11	29,00	5,59

P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	3,59
P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,59
P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	5,58
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,58
P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,58
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	3,58
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,58
P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,57
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0013	15	26,77	3,58
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,58
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,57
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	5,57
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,57
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,57
P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	5,56
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,56
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,57
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	3,56
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,56

P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	5,56
P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0013	15	26,78	3,56
P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,56
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	5,55
P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,55
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,55
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	3,55
P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,54
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,54
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0013	15	26,77	3,55
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0030	46	23,54	3,54
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,53
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,54
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	3,54
P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,53
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	5,53
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,53
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,53
P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	5,52

P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,52
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0013	15	26,78	3,52
P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	3,52
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,52
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,52
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	3,52
P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,52
P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,51
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	5,51
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0013	15	26,78	3,51
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,51
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	5,50
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,50
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,51
P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	3,50
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,50
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	5,50
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0013	15	26,78	3,50
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,49

P-32	N-31	FCV-1	85,1	PVC	1,00	0,75	0,13	0,0007	8	26,96	4,54
P-33	FCV-1	N-32	85,1	PVC	1,00	0,75	0,13	0,0006	8	26,59	5,54
P-61	FCV-4	N-59	85,1	PVC	0,50	0,75	0,13	0,0013	4	53,36	3,50
P-60	N-58	FCV-4	85,1	PVC	5,50	0,75	0,13	0,0021	42	20,37	3,50

Anexo G. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 1 con un caudal de 1.0 L/s.

- Longitud de la tubería = 128,30 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	1,00	0,18	0,0020	9	43,97	5,59
P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,59
P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,59
P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,58
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,58

P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,58
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,57
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	5,57
P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,57
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	3,57
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,56
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,56
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,55
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,56
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,55
P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,55
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,54
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	3,55
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,54
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,54
P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,53
P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	3,54
P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,53
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,53

P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,52
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,52
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,52
P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,52
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,51
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	3,51
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0051	34	35,40	3,51
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,42
P-64	N-60	N-61	85,1	PVC	2,80	1,00	0,18	0,0020	16	32,64	3,46
P-63	FCV-2	N-60	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0008	3	49,72	3,47
P-62	N-31	FCV-2	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0009	3	50,66	3,51
P-65	N-61	FCV-3	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0009	3	50,66	3,46
P-66	FCV-3	N-59	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0023	3	81,81	3,42

Anexo H. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 1 con un caudal de 1.0 L/s.

- **Longitud de la tubería = 235,50 metros.**

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	1,00	0,18	0,0020	9	43,97	5,59
P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,59
P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,59
P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,58
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,58
P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	3,58
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,57
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,57
P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,57
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	3,57
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,56
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,56
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,55
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,56
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,55

P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,55
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,54
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	3,55
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,54
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,54
P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,53
P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	3,54
P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,53
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,53
P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,52
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,52
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,52
P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	5,52
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,51
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	3,51
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0051	34	35,40	3,51
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,50
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,50
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,50

P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,49
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,49
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,49
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,49
P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	5,48
P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,48
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	3,48
P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,47
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,47
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,47
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,47
P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,46
P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,46
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,45
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	3,46
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,45
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	5,45
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,44
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,45

P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,44
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,44
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,43
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	3,43
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,43
P-32	N-31	FCV-1	85,1	PVC	1,00	1,00	0,18	0,0011	6	40,77	4,51
P-33	FCV-1	N-32	85,1	PVC	1,00	1,00	0,18	0,0011	6	40,21	5,50
P-61	FCV-4	N-59	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0023	3	81,79	3,43
P-60	N-58	FCV-4	85,1	PVC	5,50	1,00	0,18	0,0035	31	30,38	3,43

Anexo I. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 1 con un caudal de 1.5 L/s.

- **Longitud de la tubería = 235,50 metros.**

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	1,50	0,26	0,0043	6	79,21	5,58
P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,59
P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,58
P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,57
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,56
P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,56
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,56
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,55
P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,54
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0048	8	72,69	3,54
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,53
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,52
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,52
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,52
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,51

P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,50
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,50
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,50
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,49
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,48
P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,47
P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0048	8	72,69	3,47
P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,46
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	5,46
P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,45
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	3,45
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,44
P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	5,44
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,43
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0048	8	72,69	3,43
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0108	23	63,09	3,42
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,40
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,40
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,39

P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,38
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,38
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,38
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,37
P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,36
P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,35
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0048	8	72,69	3,35
P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,35
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	5,34
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,33
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	3,33
P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,32
P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	5,32
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,31
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0048	8	72,69	3,31
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,30
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	5,29
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,29
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	3,29

P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,28
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	5,27
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,26
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0048	8	72,69	3,26
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,25
P-32	N-31	FCV-1	85,1	PVC	1,00	1,50	0,26	0,0024	4	73,22	4,41
P-33	FCV-1	N-32	85,1	PVC	1,00	1,50	0,26	0,0024	4	72,15	5,41
P-61	FCV-4	N-59	85,1	PVC	0,50	1,50	0,26	0,0051	2	149,44	3,25
P-60	N-58	FCV-4	85,1	PVC	5,50	1,50	0,26	0,0071	21	53,54	3,26

Anexo J. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 1 con un caudal de 2.0 L/s.

- Longitud de la tubería = 235,50 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (m H ₂ O)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	2,00	0,35	0,0074	4	120,43	5,58
P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,58
P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,57

P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,41	5,56
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,54
P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,54
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,53
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,52
P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,51
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0083	6	110,25	3,50
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,49
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,48
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,47
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,47
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,45
P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,41	5,44
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,43
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,43
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,42
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,41
P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,39
P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0083	6	110,25	3,39

P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,38
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,37
P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,35
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,35
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,34
P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,41	5,33
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,32
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0083	6	110,25	3,31
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0185	17	95,22	3,29
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,27
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,27
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,25
P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,24
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,23
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,23
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,22
P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,21
P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,19
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0083	6	110,25	3,19

P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,18
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,17
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,15
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,15
P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,14
P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,13
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,12
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0083	6	110,25	3,11
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,10
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,09
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,08
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,08
P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,06
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,05
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,04
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0083	6	110,25	3,04
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,01
P-32	N-31	FCV-1	85,1	PVC	1,00	2,00	0,35	0,0042	3	111,10	4,29
P-33	FCV-1	N-32	85,1	PVC	1,00	2,00	0,35	0,0041	3	109,40	5,28

P-61	FCV-4	N-59	85,1	PVC	0,50	2,00	0,35	0,0089	1	229,27	3,01
P-60	N-58	FCV-4	85,1	PVC	5,50	2,00	0,35	0,0120	16	80,16	3,02

Anexo K. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 2 con un caudal de 0.5 L/s.

- Longitud de la tubería = 129,0 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	0,50	0,09	0,0004	17	13,64	5,59
P-96	N-59	N-91	85,1	PVC	2,00	0,50	0,09	0,0005	23	12,97	3,36
P-62	N-1	FCV-3	70,8	PVC	6,50	0,50	0,13	0,0027	51	21,14	5,59
P-63	FCV-3	N-60	70,8	PVC	0,50	0,50	0,13	0,0005	4	32,26	5,50
P-64	N-60	N-61	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	3,50
P-65	N-61	N-62	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	3,50
P-66	N-62	N-63	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	5,49
P-67	N-63	N-64	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	5,49
P-68	N-64	N-65	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	3,49
P-69	N-65	N-66	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	3,49

P-70	N-66	N-67	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	5,49
P-71	N-67	N-68	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	5,48
P-72	N-68	N-69	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0014	16	26,95	3,49
P-73	N-69	N-70	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	3,48
P-74	N-70	N-71	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	5,48
P-75	N-71	N-72	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	5,48
P-76	N-72	N-73	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	3,48
P-77	N-73	N-74	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	3,48
P-78	N-74	N-75	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	5,47
P-79	N-75	N-76	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	5,47
P-80	N-76	N-77	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	3,47
P-81	N-77	N-78	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	3,47
P-82	N-78	N-79	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	5,47
P-83	N-79	N-80	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	5,46
P-84	N-80	N-81	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0014	16	26,95	3,47
P-85	N-81	N-82	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	3,46
P-86	N-82	N-83	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	5,46
P-87	N-83	N-84	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	5,46
P-88	N-84	N-85	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	3,46

P-89	N-85	N-86	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	3,46
P-90	N-86	N-87	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0010	16	23,58	5,45
P-91	N-87	N-88	70,8	PVC	6,00	0,50	0,13	0,0025	47	21,17	5,45
P-93	N-89	N-90	70,8	PVC	3,50	0,50	0,13	0,0016	28	22,06	3,45
P-94	N-90	FCV-4	70,8	PVC	0,50	0,50	0,13	0,0005	4	32,79	3,45
P-95	FCV-4	N-59	70,8	PVC	0,50	0,50	0,13	0,0012	4	51,29	3,36
P-92	N-88	N-89	70,8	PVC	2,00	0,50	0,13	0,0014	16	26,95	3,45

Anexo L. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 2 con un caudal de 0.75 L/s.

- Longitud de la tubería = 129,0 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	0,75	0,13	0,0008	11	24,22	5,59
P-96	N-59	N-91	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,45
P-62	N-1	FCV-3	70,8	PVC	6,50	0,75	0,19	0,0056	34	37,01	5,58
P-63	FCV-3	N-60	70,8	PVC	0,50	0,75	0,19	0,0011	3	58,09	5,57
P-64	N-60	N-61	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	3,57

P-65	N-61	N-62	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,08	3,57
P-66	N-62	N-63	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	5,56
P-67	N-63	N-64	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,08	5,56
P-68	N-64	N-65	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	3,56
P-69	N-65	N-66	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,07	3,55
P-70	N-66	N-67	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	5,55
P-71	N-67	N-68	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,07	5,54
P-72	N-68	N-69	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0029	10	48,09	3,54
P-73	N-69	N-70	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,08	3,54
P-74	N-70	N-71	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	5,53
P-75	N-71	N-72	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,07	5,53
P-76	N-72	N-73	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	3,53
P-77	N-73	N-74	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,07	3,52
P-78	N-74	N-75	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	5,52
P-79	N-75	N-76	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,08	5,51
P-80	N-76	N-77	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	3,52
P-81	N-77	N-78	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,07	3,51
P-82	N-78	N-79	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	5,50
P-83	N-79	N-80	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,07	5,50

P-84	N-80	N-81	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0029	10	48,09	3,50
P-85	N-81	N-82	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,08	3,49
P-86	N-82	N-83	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	5,49
P-87	N-83	N-84	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,07	5,48
P-88	N-84	N-85	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	3,49
P-89	N-85	N-86	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,07	3,48
P-90	N-86	N-87	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0022	10	41,69	5,47
P-91	N-87	N-88	70,8	PVC	6,00	0,75	0,19	0,0052	31	37,08	5,47
P-93	N-89	N-90	70,8	PVC	3,50	0,75	0,19	0,0033	18	38,78	3,47
P-94	N-90	FCV-4	70,8	PVC	0,50	0,75	0,19	0,0011	3	59,10	3,47
P-95	FCV-4	N-59	70,8	PVC	0,50	0,75	0,19	0,0027	3	93,49	3,45
P-92	N-88	N-89	70,8	PVC	2,00	0,75	0,19	0,0029	10	48,09	3,47

Anexo M. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 2 con un caudal de 0.75 L/s.

- **Longitud de la tubería = 235,50 metros.**

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
-----------------	---------------------	-------------------	----------------------	-----------------	---------------------	---------------------	------------------------	---------------------	-------------------------------	---	-----------------------------------

P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	0,75	0,13	0,0008	11	24,22	5,59
P-4	N-2	N-3	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	3,58
P-5	N-3	N-4	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,58
P-6	N-4	N-5	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	5,57
P-7	N-5	N-6	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,58
P-8	N-6	N-7	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,58
P-9	N-7	N-8	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	5,57
P-10	N-8	N-9	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,57
P-11	N-9	N-10	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,57
P-12	N-10	N-11	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	3,57
P-13	N-11	N-12	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0013	15	26,78	5,56
P-14	N-12	N-13	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,56
P-15	N-13	N-14	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	3,56
P-16	N-14	N-15	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,56
P-17	N-15	N-16	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,56
P-18	N-16	N-17	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	5,56
P-19	N-17	N-18	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,56
P-20	N-18	N-19	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,56
P-21	N-19	N-20	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	5,55

P-22	N-20	N-21	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,55
P-23	N-21	N-22	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	3,55
P-24	N-22	N-23	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,55
P-25	N-23	N-24	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0013	15	26,78	5,54
P-26	N-24	N-25	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	5,54
P-27	N-25	N-26	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,55
P-28	N-26	N-27	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,54
P-29	N-27	N-28	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	5,54
P-30	N-28	N-29	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,54
P-31	N-29	N-30	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,54
P-32	N-30	N-31	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	3,54
P-33	N-31	N-32	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,53
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,53
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	3,53
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,53
P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0013	15	26,78	5,53
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	5,52
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,53
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,52

P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	5,52
P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,52
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	3,52
P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,52
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,51
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	5,51
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,51
P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,51
P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0013	15	26,77	5,51
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,50
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,51
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	3,50
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,50
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	5,50
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	3,50
P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	3,50
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	5,49
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	3,49
P-96	N-59	N-91	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	3,48

P-60	N-58	FCV-1	85,1	PVC	5,50	0,75	0,13	0,0021	42	20,37	3,49
P-61	FCV-1	N-59	85,1	PVC	0,50	0,75	0,13	0,0013	4	53,38	3,48
P-2	N-1	FCV-2	85,1	PVC	0,50	0,75	0,13	0,0005	4	33,30	4,59
P-3	FCV-2	N-2	85,1	PVC	1,50	0,75	0,13	0,0008	11	24,23	3,58
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	5,49

Anexo N. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 2 con un caudal de 1.0 L/s.

- Longitud de la tubería = 235,50 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	1,00	0,18	0,0014	9	36,48	5,59
P-4	N-2	N-3	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,58
P-5	N-3	N-4	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,58
P-6	N-4	N-5	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,58
P-7	N-5	N-6	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,58
P-8	N-6	N-7	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,57
P-9	N-7	N-8	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	5,57

P-10	N-8	N-9	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,57
P-11	N-9	N-10	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,57
P-12	N-10	N-11	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,56
P-13	N-11	N-12	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	5,56
P-14	N-12	N-13	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,55
P-15	N-13	N-14	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,56
P-16	N-14	N-15	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,55
P-17	N-15	N-16	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,55
P-18	N-16	N-17	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,54
P-19	N-17	N-18	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	3,55
P-20	N-18	N-19	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,54
P-21	N-19	N-20	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,54
P-22	N-20	N-21	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,53
P-23	N-21	N-22	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,54
P-24	N-22	N-23	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,53
P-25	N-23	N-24	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	5,53
P-26	N-24	N-25	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,52
P-27	N-25	N-26	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,52
P-28	N-26	N-27	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,52

P-29	N-27	N-28	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	5,51
P-30	N-28	N-29	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,51
P-31	N-29	N-30	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,51
P-32	N-30	N-31	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,51
P-33	N-31	N-32	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,50
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,50
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,50
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,50
P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	5,49
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,49
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	3,49
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,49
P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,48
P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,48
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,48
P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,48
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,47
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,47
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	3,47

P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,47
P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0022	11	40,49	5,46
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,46
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,46
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,46
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	5,45
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,45
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,45
P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	3,45
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	5,44
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,44
P-96	N-59	N-91	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	3,43
P-60	N-58	FCV-1	85,1	PVC	5,50	1,00	0,18	0,0035	31	30,39	3,43
P-61	FCV-1	N-59	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0023	3	81,79	3,43
P-2	N-1	FCV-2	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0009	3	50,65	4,59
P-3	FCV-2	N-2	85,1	PVC	1,50	1,00	0,18	0,0014	9	36,47	3,59
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	5,44

Anexo O. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 2 con un caudal de 1.5 L/s.

- Longitud de la tubería = 235,50 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	1,50	0,26	0,0029	6	65,12	5,59
P-4	N-2	N-3	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,58
P-5	N-3	N-4	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	5,57
P-6	N-4	N-5	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,56
P-7	N-5	N-6	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	3,56
P-8	N-6	N-7	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,55
P-9	N-7	N-8	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,55
P-10	N-8	N-9	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,54

P-11	N-9	N-10	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,54
P-12	N-10	N-11	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,53
P-13	N-11	N-12	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0048	8	72,69	5,52
P-14	N-12	N-13	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,52
P-15	N-13	N-14	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	3,52
P-16	N-14	N-15	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,51
P-17	N-15	N-16	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	5,50
P-18	N-16	N-17	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,49
P-19	N-17	N-18	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	3,49
P-20	N-18	N-19	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,49
P-21	N-19	N-20	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	5,48
P-22	N-20	N-21	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,47
P-23	N-21	N-22	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	3,47
P-24	N-22	N-23	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,46
P-25	N-23	N-24	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0048	8	72,69	5,46
P-26	N-24	N-25	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,45
P-27	N-25	N-26	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	3,45
P-28	N-26	N-27	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,44
P-29	N-27	N-28	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	5,43

P-30	N-28	N-29	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,43
P-31	N-29	N-30	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	3,43
P-32	N-30	N-31	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,42
P-33	N-31	N-32	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	5,41
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,40
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	3,41
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,40
P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0048	8	72,69	5,39
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,38
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,38
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,37
P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,37
P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,36
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,36
P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,35
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,35
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,34
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,34
P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,33

P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0048	8	72,69	5,32
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,31
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,31
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,31
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,30
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,29
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,29
P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	3,29
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	5,27
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,27
P-96	N-59	N-91	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	3,25
P-60	N-58	FCV-1	85,1	PVC	5,50	1,50	0,26	0,0071	21	53,54	3,26
P-61	FCV-1	N-59	85,1	PVC	0,50	1,50	0,26	0,0051	2	149,44	3,26
P-2	N-1	FCV-2	85,1	PVC	0,50	1,50	0,26	0,0019	2	91,71	4,59
P-3	FCV-2	N-2	85,1	PVC	1,50	1,50	0,26	0,0029	6	65,12	3,58
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	5,28

Anexo P. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 2 con un caudal de 2.0 L/s.

- Longitud de la tubería = 235,50 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	2,00	0,35	0,0049	4	98,41	5,58
P-4	N-2	N-3	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,56
P-5	N-3	N-4	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,55
P-6	N-4	N-5	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,54
P-7	N-5	N-6	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,54
P-8	N-6	N-7	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,53
P-9	N-7	N-8	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,52
P-10	N-8	N-9	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,50
P-11	N-9	N-10	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,50
P-12	N-10	N-11	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,49
P-13	N-11	N-12	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0083	6	110,25	5,48
P-14	N-12	N-13	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,47
P-15	N-13	N-14	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,46
P-16	N-14	N-15	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,45
P-17	N-15	N-16	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,44

P-18	N-16	N-17	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,43
P-19	N-17	N-18	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,43
P-20	N-18	N-19	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,41
P-21	N-19	N-20	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,40
P-22	N-20	N-21	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,39
P-23	N-21	N-22	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,39
P-24	N-22	N-23	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,38
P-25	N-23	N-24	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0083	6	110,25	5,36
P-26	N-24	N-25	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,35
P-27	N-25	N-26	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,35
P-28	N-26	N-27	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,34
P-29	N-27	N-28	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,33
P-30	N-28	N-29	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,31
P-31	N-29	N-30	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,31
P-32	N-30	N-31	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,30
P-33	N-31	N-32	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,29
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,28
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,28
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,26

P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0083	6	110,25	5,25
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,24
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,24
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,22
P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,21
P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,20
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,20
P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,19
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,18
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,16
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,16
P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,15
P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0083	6	110,25	5,14
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,12
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,41	3,12
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,11
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,10
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,09
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,09

P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	3,07
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	5,05
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,05
P-96	N-59	N-91	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	3,02
P-60	N-58	FCV-1	85,1	PVC	5,50	2,00	0,35	0,0120	16	80,16	3,04
P-61	FCV-1	N-59	85,1	PVC	0,50	2,00	0,35	0,0089	1	229,28	3,03
P-2	N-1	FCV-2	85,1	PVC	0,50	2,00	0,35	0,0033	1	139,90	4,58
P-3	FCV-2	N-2	85,1	PVC	1,50	2,00	0,35	0,0049	4	98,41	3,58
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	5,06

Anexo Q. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 3 con un caudal de 0.5 L/s.

- Longitud de la tubería = 128,30 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	0,50	0,1	0,0005	17	16,16	7,09
P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	1,10
P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	1,10

P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	7,08
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	7,08
P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	1,09
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	1,09
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	7,08
P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	7,08
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0012	68	12,30	1,09
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	1,09
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	7,08
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	7,08
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	1,09
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	1,09
P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	7,07
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	7,07
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	1,08
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	1,08
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	7,07
P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	7,07
P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0012	68	12,30	1,08

P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	1,08
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	7,07
P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	7,07
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	1,08
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	1,08
P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0011	68	11,51	7,06
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	7,06
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	6,00	0,50	0,1	0,0012	68	12,30	1,07
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0008	23	17,32	1,07
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	0,50	0,1	0,0005	23	12,97	1,03
P-64	N-60	N-61	85,1	PVC	2,80	0,50	0,1	0,0006	32	12,36	1,05
P-63	FCV-2	N-60	85,1	PVC	0,50	0,50	0,1	0,0002	6	18,15	1,05
P-62	N-31	FCV-2	85,1	PVC	0,50	0,50	0,1	0,0002	6	18,45	1,07
P-65	N-61	FCV-3	85,1	PVC	0,50	0,50	0,1	0,0002	6	18,45	1,05
P-66	FCV-3	N-59	85,1	PVC	0,50	0,50	0,1	0,0006	6	29,25	1,03

Anexo R. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 3 con un caudal de 0.75 L/s.

- **Longitud de la tubería = 235,50 metros.**

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	0,75	0,13	0,0011	11	29,00	7,08
P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	1,09
P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	1,09
P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	7,08
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	7,08
P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	1,09
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	1,09
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	7,07
P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	7,07
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0026	46	21,66	1,08
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	1,08
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	7,07
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	7,07
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	1,08
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	1,07

P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	7,06
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	7,06
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	1,07
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	1,07
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	7,05
P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	7,05
P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0026	46	21,67	1,06
P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	1,06
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	7,05
P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	7,05
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	1,06
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	1,05
P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	7,04
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	7,04
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0026	46	21,66	1,05
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0018	15	31,16	1,05
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	7,03
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	1,04
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	1,04

P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	7,03
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	7,03
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	1,04
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	1,03
P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	7,02
P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	7,02
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0026	46	21,67	1,03
P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	1,03
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	7,01
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	7,01
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	1,02
P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	1,02
P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	7,01
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	7,01
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0026	46	21,67	1,02
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	1,01
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	7,00
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	7,00
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,14	1,01

P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	1,01
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0022	46	20,15	6,99
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,94	6,99
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	6,00	0,75	0,13	0,0026	46	21,67	1,00
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	0,75	0,13	0,0010	15	22,95	1,00
P-32	N-31	FCV-1	85,1	PVC	3,00	0,75	0,13	0,0013	23	21,74	4,04
P-33	FCV-1	N-32	85,1	PVC	3,00	0,75	0,13	0,0013	23	21,59	7,03
P-61	FCV-4	N-59	85,1	PVC	0,50	0,75	0,13	0,0013	4	53,36	1,00
P-60	N-58	FCV-4	85,1	PVC	1,50	0,75	0,13	0,0008	11	24,49	1,00

Anexo S. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 3 con un caudal de 1.0 L/s.

- Longitud de la tubería = 128,30 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	1,00	0,18	0,0020	9	43,97	7,08
P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	1,09

P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,09
P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,07
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	7,07
P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	1,08
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,08
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,06
P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	7,06
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0043	34	32,44	1,07
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,07
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,05
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	7,05
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	1,06
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	1,06
P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,04
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	7,04
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	1,05
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,05
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,03
P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	7,03

P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0043	34	32,44	1,04
P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,04
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,02
P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	7,02
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	1,03
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	1,03
P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,01
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	7,01
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0043	34	32,44	1,02
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0030	11	47,35	1,01
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	0,77
P-64	N-60	N-61	85,1	PVC	2,80	1,00	0,18	0,0020	16	32,64	0,89
P-63	FCV-2	N-60	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0008	3	49,72	0,89
P-62	N-31	FCV-2	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0009	3	50,66	1,01
P-65	N-61	FCV-3	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0009	3	50,66	0,89
P-66	FCV-3	N-59	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0023	3	81,79	0,77

Anexo T. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 3 con un caudal de 1.0 L/s.

- Longitud de la tubería = 235,50 metros.

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	1,00	0,18	0,0020	9	43,97	7,08
P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	1,09
P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,09
P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,07
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	7,07
P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	1,08
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,08
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,06
P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	7,06
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0043	34	32,44	1,07
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,07
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,05
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	7,05
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	1,06
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,06

P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,04
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	7,04
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	1,05
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,05
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,03
P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	7,03
P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0043	34	32,44	1,04
P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,04
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,02
P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	7,02
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	1,03
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,03
P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	7,01
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	7,01
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0043	34	32,44	1,02
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0030	11	47,35	1,01
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	6,99
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	1,00
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	1,00

P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	6,99
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	6,98
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	0,99
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	0,99
P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	6,98
P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	6,97
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0043	34	32,44	0,98
P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	0,98
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	6,96
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	6,96
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	0,97
P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	0,97
P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	6,95
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	6,95
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0043	34	32,44	0,96
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	0,96
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	6,94
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	6,94
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	0,95

P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	0,95
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0037	34	30,03	6,93
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,46	6,93
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	6,00	1,00	0,18	0,0043	34	32,44	0,94
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	1,00	0,18	0,0016	11	34,47	0,93
P-32	N-31	FCV-1	85,1	PVC	3,00	1,00	0,18	0,0022	17	32,56	4,01
P-33	FCV-1	N-32	85,1	PVC	3,00	1,00	0,18	0,0021	17	32,32	7,00
P-61	FCV-4	N-59	85,1	PVC	0,50	1,00	0,18	0,0023	3	81,79	0,93
P-60	N-58	FCV-4	85,1	PVC	1,50	1,00	0,18	0,0014	9	36,90	0,94

Anexo U. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 3 con un caudal de 1.50 L/s.

- **Longitud de la tubería = 235,50 metros.**

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (mca)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	1,50	0,26	0,0043	6	79,21	7,08
P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	1,09
P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	1,08
P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	7,06
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	7,06
P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	1,06
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	1,06
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	7,04
P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	7,04
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0090	23	57,46	1,04
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	1,04
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	7,02
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	7,01
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	1,02
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	1,02

P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	7,00
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	6,99
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	1,00
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	0,99
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	6,97
P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	6,97
P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0090	23	57,47	0,97
P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	0,97
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	6,95
P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	6,95
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	0,95
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	0,95
P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	6,93
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	6,93
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0090	23	57,47	0,93
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0066	8	85,54	0,92
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	6,89
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	0,89
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	0,89

P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	6,87
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	6,87
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	0,87
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	0,87
P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	6,85
P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	6,84
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0090	23	57,46	0,85
P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	0,84
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	6,82
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	6,82
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	0,83
P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	0,82
P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	6,80
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	6,80
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0090	23	57,47	0,80
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	0,80
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	6,78
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,31	6,78
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	0,78

P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	0,78
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0076	23	52,86	6,76
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	6,75
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	6,00	1,50	0,26	0,0090	23	57,47	0,76
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	1,50	0,26	0,0034	8	61,30	0,74
P-32	N-31	FCV-1	85,1	PVC	3,00	1,50	0,26	0,0045	11	57,69	3,91
P-33	FCV-1	N-32	85,1	PVC	3,00	1,50	0,26	0,0045	11	57,24	6,89
P-61	FCV-4	N-59	85,1	PVC	0,50	1,50	0,26	0,0051	2	149,44	0,74
P-60	N-58	FCV-4	85,1	PVC	1,50	1,50	0,26	0,0030	6	65,91	0,75

Anexo V. Resultados obtenidos de WaterCAD para la alternativa geométrica 3 con un caudal de 2.0 L/s.

- **Longitud de la tubería = 235,50 metros.**

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas (m)	Tiempo del tramo (seg)	Gradiente de velocidad del tramo (1/s)	Presión (Nodo final) (m H2O)
P-1	R-1	N-1	85,1	PVC	1,50	2,00	0,35	0,0074	4	120,43	7,08
P-2	N-1	N-2	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	1,08
P-3	N-2	N-3	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	1,07

P-4	N-3	N-4	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	7,05
P-5	N-4	N-5	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	7,04
P-6	N-5	N-6	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	1,04
P-7	N-6	N-7	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	1,03
P-8	N-7	N-8	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	7,01
P-9	N-8	N-9	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	7,00
P-10	N-9	N-10	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0152	17	86,37	1,00
P-11	N-10	N-11	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	1,00
P-12	N-11	N-12	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	6,97
P-13	N-12	N-13	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,96
P-14	N-13	N-14	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	0,96
P-15	N-14	N-15	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	0,96
P-16	N-15	N-16	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	6,93
P-17	N-16	N-17	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,93
P-18	N-17	N-18	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	0,93
P-19	N-18	N-19	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	0,92
P-20	N-19	N-20	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	6,90
P-21	N-20	N-21	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,89
P-22	N-21	N-22	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0152	17	86,37	0,89

P-23	N-22	N-23	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	0,88
P-24	N-23	N-24	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	6,86
P-25	N-24	N-25	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,85
P-26	N-25	N-26	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	0,85
P-27	N-26	N-27	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	0,84
P-28	N-27	N-28	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	6,82
P-29	N-28	N-29	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,81
P-30	N-29	N-30	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0152	17	86,37	0,81
P-31	N-30	N-31	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0115	6	130,29	0,80
P-34	N-32	N-33	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,76
P-35	N-33	N-34	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	0,76
P-36	N-34	N-35	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	0,76
P-37	N-35	N-36	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	6,73
P-38	N-36	N-37	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,73
P-39	N-37	N-38	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	0,73
P-40	N-38	N-39	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	0,72
P-41	N-39	N-40	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	6,70
P-42	N-40	N-41	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,69
P-43	N-41	N-42	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0152	17	86,37	0,69

P-44	N-42	N-43	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	0,68
P-45	N-43	N-44	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	6,66
P-46	N-44	N-45	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,65
P-47	N-45	N-46	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	0,65
P-48	N-46	N-47	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	0,64
P-49	N-47	N-48	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	6,62
P-50	N-48	N-49	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,61
P-51	N-49	N-50	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0152	17	86,37	0,61
P-52	N-50	N-51	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	0,60
P-53	N-51	N-52	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	6,58
P-54	N-52	N-53	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,57
P-55	N-53	N-54	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	0,57
P-56	N-54	N-55	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	0,57
P-57	N-55	N-56	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0128	17	79,09	6,54
P-58	N-56	N-57	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	6,54
P-59	N-57	N-58	85,1	PVC	6,00	2,00	0,35	0,0152	17	86,37	0,53
P-67	N-59	N-62	85,1	PVC	2,00	2,00	0,35	0,0058	6	92,42	0,51
P-32	N-31	FCV-1	85,1	PVC	3,00	2,00	0,35	0,0077	9	86,73	3,79
P-33	FCV-1	N-32	85,1	PVC	3,00	2,00	0,35	0,0075	9	86,01	6,77

P-61	FCV-4	N-59	85,1	PVC	0,50	2,00	0,35	0,0089	1	229,27	0,52
P-60	N-58	FCV-4	85,1	PVC	1,50	2,00	0,35	0,0051	4	99,66	0,53

Anexo W. Enlaces de tablas de Excel para cada caudal ejecutado en WaterCAD del floculador existente en la planta.

“MODELO EXISTENTE” → https://drive.google.com/drive/folders/1U3v8cGvXVS2jwtYie26Qz95KBWe7dGY8?usp=drive_link

Anexo X. Enlaces de tablas de Excel para cada alternativa de solución modelada en WaterCAD en función de los caudales.

“SOLUCIONES” → https://drive.google.com/drive/folders/1jQgzjncX9dAvc_3WOQkwfih_syJ-DvHe?usp=drive_link