

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

### ANÁLISIS NUMÉRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA DE FLOCULADORES TUBULARES DE GEOMETRÍA HELICOIDAL

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


**Autores:**

Rommel Fernando Coello Miranda

Giancarlo Edmundo Orellana Salinas


**Director:**

Esteban Remigio Sánchez Cordero

ORCID:  0000-0002-8206-386X

**Co director:**

Fausto Fernando García Ávila

ORCID:  0000-0002-9274-9769

**Cuenca, Ecuador**

2023-03-10

### Resumen

En la actualidad el cambio climático produce épocas de extrema lluvia o sequía; esto genera que sobre todo en zonas rurales en épocas de sequía se vuelva problemático el abastecimiento de agua potable, por lo cual se recomienda construir espacios de tratamiento de agua potable ubicados cercanos a ríos que en épocas de sequía aún puedan surtir líquido para tratar. El problema es que la construcción de dichas plantas requiere de altas inyecciones económicas, lo que hace inviable la ejecución de estos proyectos y como consecuencia, la población rural vive reiteradamente año a año en épocas de sequía, problemas de abastecimiento de agua potable; para evitar esto es necesario buscar la manera de reducir costos y espacios en la construcción de tratamientos de agua potable. Una manera de reducir costos y espacios en el tratamiento de agua potable consiste en utilizar tubos de polietileno de alta resistencia en el área de floculación del agua cruda, estos tubos se pueden enroscar en un esqueleto metálico dándoles una forma helicoidal. Este floculador tendrá una tubería de diámetro y longitud calculada para poder cumplir con los parámetros necesarios en el área de floculación, de manera que el aditivo colocado realice su trabajo eficientemente. Esta idea de floculador ya se armó y probó en la planta de tratamiento de agua potable “Bayas” perteneciente a la ciudad de Azogues, Ecuador.

*Palabras clave:* floculador, parámetros de floculación, eficiencia hidráulica

### Abstract

At present, climate change produces periods of extreme rainfall or drought; this generates that especially in rural areas in times of drought the supply of drinking water becomes problematic, so it is recommended to build drinking water treatment areas located near rivers that in times of drought can still supply liquid to treat. The problem is that the construction of these plants requires high economic injections, which makes the execution of these projects unfeasible and as a consequence, the rural population lives repeatedly year after year in times of drought problems of drinking water supply; to avoid this it is necessary to look for ways to reduce costs and spaces in the construction of drinking water treatment. One way to reduce costs and space in the treatment of drinking water is to use high strength polyethylene pipes in the area of flocculation of raw water, these pipes can be screwed into a metal skeleton giving them a helical shape. This flocculator will have a pipe diameter and length calculated to meet the necessary parameters in the flocculation area, so that the additive placed will do its job efficiently. This flocculator idea has already been assembled and tested in the potable water treatment plant "Bayas" belonging to the city of Azogues, Ecuador, where a tubular helicoidal flocculator capable of treating a flow of 1 l/s was designed using a pipe of 110mm diameter and with lengths of 50 m and 75 m, these lengths are the ideal mathematically calculated, however, at the time of assembly in the field the real lengths of the flocculators were 57.2 m and 82.3 m.

*Keywords:* flocculator, flocculation parameters, hydraulic efficiency

## Índice de contenidos

1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. ANTECEDENTES.....	10
1.2. PROBLEMÁTICA.....	11
1.3. OBJETIVOS .....	12
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	12
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	13
2. MARCO TEÓRICO .....	15
2.1. FLOCULADOR .....	15
2.2. FLOCULADORES HIDRÁULICOS .....	15
2.2.1. FLOCULADOR HIDRÁULICO CONVENCIONAL DE FORMA HELICOIDAL.....	15
2.3. PARÁMETROS PARA LA FLOCULACIÓN .....	16
2.3.1. VELOCIDAD.....	17
2.3.2. GRADIENTE DE VELOCIDAD .....	17
2.3.3. TIEMPO DE RETENCIÓN .....	18
2.4. PARÁMETROS HIDRÁULICOS .....	18
2.4.1. PRESIÓN .....	18
2.4.2. PÉRDIDAS DE ENERGÍA.....	19
2.5. FLOCULADORES TUBULARES.....	19
2.5.1. FLOCULADOR HIDRÁULICO TUBULAR DE FORMA HELICOIDAL .....	19
2.6. PARÁMETROS FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL .....	20
2.6.1. PÉRDIDAS DE ENERGÍA.....	20
2.7. EFICIENCIA HIDRÁULICA .....	24

2.8. SOFTWARE WATERCAD .....	24
3. METODOLOGÍA.....	26
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	26
3.2. MODELACIÓN VIRTUAL DEL SISTEMA PILOTO.....	27
3.2.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y MODELACIÓN VIRTUAL .....	27
3.2.1.1. CONDUCCIÓN Y ENTRADA A LOS FLOCULADORES.....	28
3.2.1.2. FLOCULADOR TUBULAR DE GEOMETRÍA HELICOIDAL.....	29
3.2.2. ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN EN FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL .....	30
3.2.2.1. TIEMPO DE RETENCIÓN.....	30
3.2.3. VELOCIDAD.....	31
3.2.4. GRADIENTE DE VELOCIDAD.....	31
3.3. DISEÑO DE UN MODELO DE FLOCULADOR HELICOIDAL CON UNA MEJOR EFICIENCIA HIDRÁULICA.....	32
4. RESULTADOS .....	35
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE FLOCULACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE SOFTWARE COMPUTACIONAL WATERCAD.....	35
4.1.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN .....	35
4.1.2. ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE HIDRÁULICOS .....	38
5. MODELO SUGERIDO CON EL OBJETIVO DE MEJORAR LAS CONDICIONES DE FLUJO. ....	40
5.1. SUGERENCIAS DE CAMBIOS EN EL FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL PARA CORREGIR PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO.....	40
6. ANÁLISIS DE EFICIENCIA HIDRÁULICA DEL FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL FLOCULADORES. ....	44
6.1. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA DEL FLOCULADOR TUBULAR ARMADO EN CAMPO. ....	44

6.2. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA DEL FLOCULADOR TUBULAR SUGERIDO.....	45
7. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y DISCUSIÓN.....	47
7.1. CONCLUSIONES.....	47
7.2. RECOMENDACIONES.....	49
7.3. DISCUSIÓN.....	49
Referencias.....	51
Anexos.....	53
ANEXO A. Tablas de resultados obtenidas de WaterCAD en los diferentes caudales ensayados. ....	53
□ Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.25 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 57.2 metros. ....	53
□ Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.25 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 82.3 metros. ....	57
□ Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.5 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 57.2 metros. ....	63
□ Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.5 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 82.3 metros. ....	67
□ Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.75 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 57.2 metros. ....	73
□ Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.75 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 82.3 metros. ....	77
□ Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 1 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 57.2 metros. ....	83
□ Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 1 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 82.3 metros. ....	87
□ Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 2 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 57.2 metros. ....	93

□ Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 2 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 82.3 metros. ....	97
ANEXO B. Cálculos de los parámetros de floculación para el modelo sugerido. ....	103
ANEXO C. Cálculos de las eficiencias hidráulicas. ....	104

## Índice de figuras

Ilustración 1 FLOCULADOR HELICOIDAL .....	16
Ilustración 2 MODELACIÓN FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR.....	19
Ilustración 3 FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL ARMADO ACTUALMENTE EN SITIO ..	19
Ilustración 4 VARIACIÓN DE LÍNEA DE ENERGÍA.....	21
Ilustración 5 UBICACIÓN DE PTAP "BAYAS" .....	27
Ilustración 6 SISTEMA PILOTO DE FLOCULADOR HELICOIDAL ARMADO EN SITIO.....	28
Ilustración 7 TUBO ALIMENTADOR DEL FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR .....	29
Ilustración 8 AUMENTO DE DIÁMETRO DEL HELICOIDE .....	29
Ilustración 9 MODELACIÓN VIRTUAL DEL FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL SUGERIDO .....	42



**Índice de tablas**

Tabla 1 ACCESORIOS Y COEFICIENTES QUE CONFORMAN EL FLOCULADOR HELICOIDAL.....	22
Tabla 2 DETALLES DE LAS CONFIGURACIONES DEL FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR .....	30
Tabla 3 CONDICIONES INICIALES DEL AGUA QUE ENTRA EN LA PTAP.....	32
Tabla 4 PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN JORGE ARBOLEDA .....	35
Tabla 5 RESULTADOS DE TIEMPOS DE RETENCIÓN FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR .....	36
Tabla 6 RESULTADOS DE VELOCIDADES EN EL FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR .	37
Tabla 7 RESULTADOS DE GRADIENTE DE VELOCIDAD EL FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR .....	38
Tabla 8 RESULTADOS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR .....	39
Tabla 9 RESUMEN DE CAUDALES Y PROBLEMAS DE FLOCULACIÓN .....	40
Tabla 10 CONFIGURACIONES SUGERIDAS DE CAMBIOS PARA EL MODELO SUGERIDO	41
Tabla 11 DISPOSICIÓN DE ESPACIO FÍSICO PARA MODELO RECOMENDADO .....	43
Tabla 12 RESULTADOS DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS EN EL FLOCULADOR HELICOIDAL DE CAMPO .....	44
Tabla 13 TABLA DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS DE LOS CAUDALES QUE PUEDEN SER TRATADOS EN EL FLOCULADOR HELICOIDAL ACTUAL .....	45
Tabla 14 EFICIENCIA HIDRÁULICA DE MODELOS DE FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR RECOMENDADOS .....	46

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

El agua contiene naturalmente tanto materia disuelta como suspendida, las cuales pueden ser orgánicas e inorgánicas. Los sólidos en suspensión pueden ser de tal tamaño y densidad que logran ser removidos del agua por simple sedimentación, pero algunas partículas son tan pequeñas y tienen una carga superficial que constantemente se repelen entre sí, evitando su aglomeración, generando que estas se encuentren suspendidas en el fluido y circulen siendo parte del agua otorgándole un color respectivo, para poder neutralizar esta carga energética que evita la aglomeración de partículas es necesario colocar elementos 2 peso sean suficientes para poder sedimentarlos y separarlos del agua.

La presencia de partículas suspendidas en el agua se puede medir a través del parámetro denominado turbidez del agua. El nivel de esta en el agua potable es importante, no solo por razones estéticas, ya que un valor alto puede ocasionar el rechazo inmediato de su uso por parte del consumidor, sino también por razones desinfectantes, debido a que funciona como un indicador de presencia de materia orgánica y microorganismos que requieren ser tratados por un proceso de desinfección (SÁNCHEZ DEL CASTILLO, 2016)

La coagulación-floculación es un método de pretratamiento convencional (típicamente en combinación con sedimentación y filtración rápida en arena) utilizado para separar los compuestos suspendidos y disueltos (turbidez) del agua, en las plantas de tratamiento de agua potable. Dentro de estos compuestos separados están minerales suspendidos, orgánicos, patógenos, iones metálicos, fosfatos, fluoruros y radionucleidos. (TZOUPANOS & ZOUBOULIS, 2008)

Convencionalmente, el proceso de floculación se realiza en un espacio construido a base de asbesto y cemento cuya configuración dirigirá el flujo en dos direcciones comunes como lo son en ida y vuelta en el floculador horizontal; y en sube y baja en floculadores verticales, cada uno de estos se utiliza según las condiciones físicas del terreno y de la demanda de agua a tratar, sin embargo, existe una tercera opción donde el agua genera un remolino produciendo así agitación del coagulante y formación de flocs, este tipo de floculador es el denominado floculador de flujo espiral o más conocido como floculador helicoidal, esto se logra mediante el ingreso lateral del agua por lo cual se requiere un canal tangencial al floculador que le permita al fluido ganar energía

de tal manera de mover la masa de agua que se encuentra en el interior del espiral hasta salir por una compuerta de ubicación opuesta.

En lugares donde no exista gran disposición económica o espacio físico para la construcción de diferentes cámaras, se puede reemplazar el floculador helicoidal convencional por uno hecho a base de tubería plástica, donde se otorgue la forma helicoidal y su radio varíe según la longitud requerida para cumplir los diferentes parámetros de floculación.

Una unidad de floculación hidráulica que se muestra prometedora es el Floculador Helicoidal Tubular (FTH), ya que ha presentado valores de mezcla más constantes (medido por el gradiente de velocidad, un parámetro hidrodinámico) a lo largo de su longitud, consecuencia de su configuración enrollada helicoidalmente a medida que sufre fluyen constantemente a los cambios de dirección. (SARTORI & DE OLIVEIRA )

## **1.2. PROBLEMÁTICA**

El agua es el líquido esencial para la vida, sin embargo, en el mundo no todas las personas tienen acceso a un agua potable de calidad, de igual forma en manera conjunta carecen de acceso a servicios de saneamiento, lo cual como consecuencia tiene la generación y expansión de enfermedades creadas por virus o bacterias generadas por el desaseo tanto del sitio de vida como del desaseo en la preparación de alimentos, la mayoría de estas personas radican en países de ingresos bajo y mediano, donde el desarrollo social no es equitativo en zonas urbanas y rurales.

El abastecimiento de agua potable constituye un peldaño importante en el desarrollo de las regiones o países, mejorando la calidad de vida de los habitantes que tienen acceso a la a este servicio; por lo cual, el tratamiento y distribución de agua debe respetar las normativas vigentes que garantizan la calidad del agua que se quiere suministrar, reduciendo así el riesgo de contraer enfermedades, evitar focos infecciosos y muertes en las poblaciones que se benefician de este tipo de sistemas. (CARDENAS JARAMILLO & PATIÑO GUARACA, 2010)

En 1980 en Ecuador se tenía una cobertura del 79% y 20% para área urbana y rural respectivamente y para el año 2001 se tiene una cobertura de 80.1% y 37.1% aumentando considerablemente para las zonas rurales, esta gran diferencia de cobertura se debe en gran parte a la falta de interés de los gobiernos a brindar un buen sistema de agua potable a las zonas rurales con escasa densidad poblacional o bien por su situación geográfica que no les permite

obtener fuentes hídricas cercanas que, a su vez elevan considerablemente el costo de las obras civiles hidráulicas, por lo que, se debe buscar la manera de facilitar su construcción analizando cada parte de una planta de tratamiento de agua potable manteniendo la calidad de su servicio. Diariamente, alrededor de cinco mil personas mueren en el planeta a causa de una enfermedad de origen hídrico como la Tifoidea, Paratifoidea, disentería, gastroenteritis, Bilharziasis y el Cólera, y que, de éstas, el 90 por ciento son niños.

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

Se ha utilizado una metodología innovadora en varios laboratorios de investigación con fines formativos, escalado por tubos enrollados en una configuración en espiral, para aumentar el grado de mezcla de unidad y promover un aumento en la interacción entre las partículas desestabilizadas por el paso de la coagulación. Como método, llamado floculador espiral tubular (THF), ha mostrado buenos resultados en términos de eficiencia en la separación sólido-líquido. Este dispositivo, además de ser compacto, tiene un tiempo de tratamiento reducido.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar de eficiencia hidráulica mediante el software WaterCAD para floculadores tubulares con geometrías helicoidal.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Entender los patrones hidráulicos de los floculadores en configuraciones geométricas helicoidales.

- Evaluar la eficiencia hidráulica de los floculadores en estudio mediante las variables de presión y velocidad haciendo uso del programa computacional WaterCAD.
- Determinar la variación de longitud o diámetros del floculador de geometría helicoidal para poder asegurar un correcto funcionamiento con la máxima eficiencia posible.

## 1.4. JUSTIFICACIÓN

El agua potable y el saneamiento son indispensables para la vida y la salud, y fundamentales para una vida adecuada de una persona. Sin embargo, 884 millones de personas carecen de acceso a fuentes mejoradas de agua potable, y 2.500 millones no disponen de servicios adecuados de saneamiento. Y aunque estas cifras de por sí ya revelan una situación preocupante, la realidad es mucho peor, porque millones de personas pobres que viven en asentamientos precarios que no están contabilizadas en las estadísticas nacionales (PNUD, 2018)

Para hacer viable el sustento de agua de calidad en zonas con baja densidad poblacional se puede optar por estructuras hidráulicas diferentes a las plantas convencionales, donde se puedan reducir costos y espacios de emplazamiento sin afectar su calidad, para esto es necesario conocer qué infraestructura de tratamiento se puede adecuar de tal manera que su función se realice con una inyección económica de construcción y mantenimiento menor, una opción para disminuir el costo que representa la construcción y el posterior mantenimiento de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) se encuentra en el área de floculación. (GONZALEZ & GUTIERREZ , 2022)

Implementar este tipo de métodos para mejorar el proceso de tratamiento del agua se considera viable ya que, este sistema de potabilización de agua es de bajo costo y los recursos financieros para poner en marcha el proyecto en poblaciones pobres que carecen de acueducto no son significativos. Para el diseño de un floculador, primero se debe establecer qué tipo de floculador se desea construir puesto que son diseños únicos dependiendo de las características a tener en cuenta, pero hay algo que tienen en común estos diseños, y es que para que un floculador funcione de manera óptima se debe calcular la cantidad óptima de coagulante, el tiempo de floculación y su gradiente de velocidad (Agudelo Córdova & Pinzón Quevedo, 2015)

Actualmente no existe amplia información sobre el uso de tubos PVC para realizar procesos de floculación, sin embargo, de la poca información existente se pueden ver resultados alentadores

de esta técnica, como nos indica (Ramos Nachtigall, 2021) quien menciona que los estudios sobre floculadores tubulares muestran una eficiencia de la floculación que puede ser viable en la implementación de una pequeña planta de tratamiento de agua.

Paul González y Juan Gutiérrez (GONZALEZ & GUTIERREZ , 2022) analizaron la eficiencia hidráulica que tiene un floculador tubular, este estudio demostró la factibilidad de la implementación de tubos como floculadores, sin embargo, su análisis se centró en la orientación de estos tubos en sentido horizontal y vertical, donde se determinó lo beneficioso que resulta tanto para el aspecto económico al reducir costos significativamente, así como el beneficio que representa al reducir la necesidad de espacios para su emplazamiento ya que, se requiere menor área en campo para su construcción. Entonces, en base al análisis que estos autores realizaron de los floculadores tubulares de geometría horizontal y vertical, nace la necesidad de analizar el tercer tipo de floculador que existe convencionalmente, el floculador de espiral o helicoidal, y poder determinar el comportamiento del agua en este floculador, conocer su eficiencia hidráulica, evaluar sus beneficios o problemas y si es recomendable o no para procesos de floculación del agua en una planta de tratamiento de agua potable.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. FLOCULADOR

Según Kimberly Gómez en su proyecto de investigación “FLOCULADOR DE LECHO POROSO EN MATERIAL DE RELLENO PLÁSTICO”, el floculador es el espacio físico donde se agita el agua para permitir el crecimiento del floc, este crecimiento es inducido por el contacto entre partículas, el contacto de partículas se crea por el gradiente de velocidad de la masa líquida. Se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte.

1. Floculación pericinética o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.
2. Floculación orto cinética o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento.
3. Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

Dentro del floculador se disminuye la velocidad con la que circula el agua para así asegurar un tiempo adecuado para que el coagulante colocado pueda hacer efecto, de acuerdo con la forma de disipación de energía, se pueden clasificar en hidráulicos y mecánicos, dentro del floculador hidráulico se encuentra el floculador helicoidal, el cual es en el que nos centraremos.

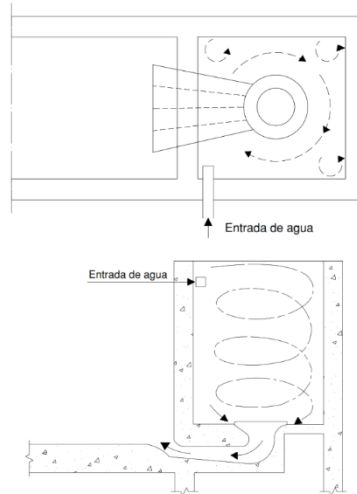
### 2.2. FLOCULADORES HIDRÁULICOS

Los floculadores hidráulicos derivan su energía para la agitación de la masa líquida de la carga de velocidad que el flujo adquiere desde la captación hasta el ingreso de la planta de tratamiento de agua potable. Consisten en tanques provistos de pantallas entre los cuales el agua circula con una velocidad fija, produciendo cierta turbulencia en cada cambio de dirección del flujo. Según estas pantallas, el floculador se clasifica en sentido horizontal, vertical y helicoidal. El objetivo del floculador es proporcionar a la masa de agua coagulada una agitación lenta, aplicando velocidades decrecientes, para promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que la suspensión de agua y flóculos salga de la unidad. (HERNANDEZ & RONDON, 2018)

#### 2.2.1. FLOCULADOR HIDRÁULICO CONVENCIONAL DE FORMA HELICOIDAL

En los floculadores helicoidales, la energía hidráulica se usa para generar un movimiento helicoidal en el agua, inducido por su ingreso tangencial en la cámara de floculación. En la

práctica, el helicoide que se forma no es de diámetro constante, como se indica en la ilustración 1, sino que el diámetro disminuye al aproximarse al fondo. Se establece una distribución de velocidad de mayor a menor. Este tipo de floculador se utiliza más en casos en que se requiera bajo en gradiente de la velocidad, pero las turbiedades sean moderadas y no contengan partículas pesadas. La colocación de las aberturas en las cámaras debe hacerse en forma cuidadosa para que agua adquiera el movimiento rotatorio que se busca



*Ilustración 1 FLOCULADOR HELICOIDAL*

### 2.3. PARÁMETROS PARA LA FLOCULACIÓN

La floculación o mezcla lenta se caracteriza por una agitación lenta del agua, permitiendo así la acumulación de floc, los principales factores a tener en cuenta para el diseño del floculador es el gradiente de velocidad, el tiempo de retención y el mecanismo usado para producir la agitación.

La floculación debe responder a dos objetivos básicos: el primero acumular el floc permitiendo así que las partículas ganen un peso específico mayor al del agua, el segundo objetivo es compactar el floc para que la sedimentación y filtración sean más efectivas (Melo & Herrera , 2016)

(Villegas & Letterman , 1976) mencionan que un floculador que realiza un proceso exitoso, cumple con dos parámetros básicos como lo son el tiempo de retención el gradiente de velocidad, ya que estos dos parámetros aseguran una alta eficiencia en el trabajo que se realiza.



## 2.3.1. VELOCIDAD

La velocidad en el proceso de floculación es de suma importancia en la dimensión del mismo, este parámetro está directamente relacionada con el tiempo de retención, debido a que en velocidades altas el tiempo de retención es pequeño, lo que genera que el coagulante colocado en el punto de ingreso no logre su objetivo de unir flocs para su posterior sedimentación, una manera de corregir el tiempo puede ser aumentando la longitud del floculador, sin embargo, esto representa mayor gasto y no es viable en pequeñas plantas de tratamiento. (NÚÑEZ CAMACHO, 2015)

## 2.3.2. GRADIENTE DE VELOCIDAD

El gradiente de velocidad indica el cambio de velocidad que existe entre el ingreso y salida del fluido en el floculador, a mayor gradiente quiere decir que existe una variación notoria de la velocidad, existe un valor mínimo y máximo recomendado en el gradiente de velocidad de manera que el coagulante colocado pueda realizar efecto en el floculador, formar los flocs, y ser arrastrados en el agua evitando sedimentación, a mayor gradiente mayor reducción de velocidad, por lo tanto, cuando el gradiente es alto la reducción también lo es, lo cual puede generar estancamiento o sedimentación de flocs, en cambio, cuando el gradiente es bajo la velocidad de ingreso es similar a la de salida y puede que no exista tiempo suficiente para que el coagulante haga efecto o inclusive si se llega a formar el floc la velocidad alta pueda romperlos.

Para poder llevar a cabo una dispersión efectiva de los coagulantes en el volumen de agua a tratar se requiere de una intensa turbulencia en el punto de aplicación de los mismos. El parámetro más utilizado para expresar la energía aplicada es el gradiente de velocidad, gradientes de velocidad altos generan mayores pérdidas de energía. (Domínguez, Rivera Huerta, & Piña Soberanis, 2008)

En el instante en que se adiciona el coagulante se busca que este sea dispersado de manera uniforme y en el menor tiempo posible, si lo anterior no ocurre, no ocurrirá de manera satisfactoria la neutralización de coloides, cuando el gradiente que se utiliza es alto, el tiempo que tardan los flocs en formarse es lento, por lo tanto, en plantas de tratamiento de agua potable existen rangos recomendados de gradientes de velocidad. (DOMINGUEZ AMOROCHO, 2010)

(Romero Rojas, 1999) menciona el criterio de Jorge Arboleda como un autor que sugiere un rango de tiempo de retención válido. Arboleda recomienda un gradiente de velocidad dentro del rango entre  $10-100 \text{ s}^{-1}$ .

### 2.3.3. TIEMPO DE RETENCIÓN

El tiempo de retención hidráulica es uno de los conceptos más importantes en la gestión del agua para las instalaciones, tanto de agua potable como aguas residuales. Es el periodo de tiempo que el agua permanece en una unidad de tratamiento, desde la captación hasta el suministro a la red domiciliaria. Si nos referimos al estudio de este concepto en una planta de agua potable, podemos expresar la necesidad de que todo el tren de tratamiento tenga el tiempo necesario para que las reacciones químicas se lleven a cabo de manera exitosa. (Anda Valades, 2021)

Los parámetros de retención se pueden medir en términos de distancias o tiempos; por ejemplo,  $t$  (tiempo) es análogo a  $V$  (volumen). Si la velocidad del flujo es constante, la distancia es directamente proporcional al tiempo. De forma similar, si el flujo es constante, el volumen es directamente proporcional al tiempo. Otra manera de calcular el tiempo sin el uso de fórmulas es mediante la prueba de trazadores, donde se coloca un líquido y se mide el tiempo que le toma a este recorrer un circuito.

Los trazadores son sustancias que se introducen en un sistema con el fin de estudiar la evolución temporal y/o espacial de determinado proceso químico, físico, biológico o industrial, a través de su detección o medición. Los trazadores adquieren definiciones cada vez más específicas a medida que se determina el área y el tipo de proceso en el cual van a ser utilizados, por ejemplo, en hidrología son definidos como material fácilmente detectable que puede añadirse en pequeñas cantidades al agua superficial o subterránea (en movimiento), para hacer patentes las trayectorias o ayudar en la medición de características de flujo, por ejemplo: velocidad de flujo, tiempos de tránsito del trazador en el sistema. (Deleón Castro, Hernández Martínez, & Rivas, 2016)

### 2.4. PARÁMETROS HIDRÁULICOS

En el espacio de floculación el agua circula con ciertas condiciones que dependen de las condiciones de entrada, la orientación de circulación, el largo del floculador entre otras, esas condiciones de circulación se analizarán como parámetros hidráulicos de velocidad, presión y pérdidas de energía.

#### 2.4.1. PRESIÓN

En floculadores convencionales se trabaja con una presión atmosférica, por lo que este parámetro no es muy estudiado en este proceso de tratamiento de agua potable, sin embargo, partiendo de que los flocs son partículas suspendidas en el agua unidas por el coagulante en el análisis de los floculadores tubulares se debe prestar atención a la presión, ya que presiones altas generan

rupturas de los flocs, la disminución de la presión entre ingreso y salida del floculador se relaciona con las pérdidas de energía dentro del floculador.

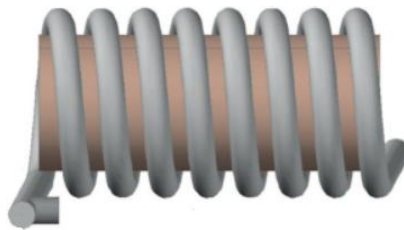
## 2.4.2. PÉRDIDAS DE ENERGÍA

El floculador helicoidal tubular está armado a base de una tubería de polietileno de alta densidad de 110 mm de densidad enroscada en un marco metálico, otorgándole la forma de helicoide, al ser un tubo continuo no necesita accesorios para unir los tramos circulares por lo que únicamente existirán pérdidas de energía de fricción, estas pérdidas se calcularon asimilando a que el tubo se encuentra en línea recta, se evita tomar en cuenta el factor por cambio de dirección debido a que el software WaterCAD es un programa que únicamente analiza el fluido en dos dimensiones.

## 2.5. FLOCULADORES TUBULARES

### 2.5.1. FLOCULADOR HIDRÁULICO TUBULAR DE FORMA HELICOIDAL

Una manera alterna de tratar el agua potable es mediante la floculación en tubos, estos tubos pueden obtener la forma helicoidal mediante radios, longitudes, y ancho de tuberías previamente estudiadas como se indica en la ilustración 2 con el objetivo de que se cumplan los parámetros de floculación respetando a su vez los parámetros hidráulicos.



*Ilustración 2 MODELACIÓN FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR*



*Ilustración 3 FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL ARMADO ACTUALMENTE EN SITIO*

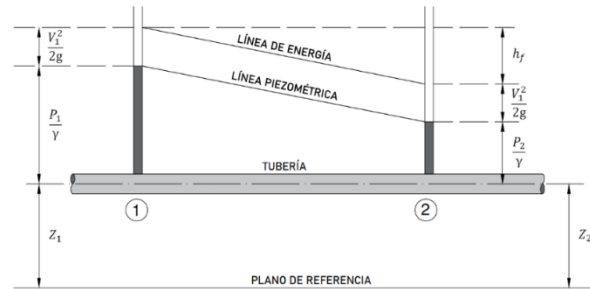
En la planta de tratamiento de agua potable, el floculador tubular se fabrica en forma de espiral, este espacio experimental se ensambla como un estudio de la dosis de coagulación para evaluar la calidad del agua después de recibir purificación. Este proceso de purificación alternativo reduce los tiempos del tratamiento y lo estudia como una opción de prueba para reducir los costos y el espacio en la producción óptima de agua del consumo humano. Diferentes diseños de floculadores tubulares y su geometría se pueden crear según el espacio disponible para el sitio del esqueleto de tubo, en estos, la longitud del floculado, el diámetro del tubo y el diámetro de la espiral será determinado por condiciones iniciales de caudales a tratar. Dependiendo del respeto por las reglas para preservar el tiempo y el gradiente de velocidad, el ensamblaje se puede producir en el área disponible. A partir de este esqueleto tubular, se obtiene diferentes resultados para las dosis de coagulante, las dimensiones del filtro posterior según el tráfico que se esté procesando. En esta tesis, la longitud y el diámetro de los floculantes tubulares utilizados, así como los caudales, se consideran como puntos de partida para modelar a partir de ellos y poder demostrar que los estudios de pérdida, presión y velocidad son estudios válidos de igual manera en este análisis, basado en el modelo hipotético, se realiza una evaluación de la eficiencia hidráulica para ejecutar diferentes geometrías, diámetros, longitudes y configuraciones para seleccionar el modelo óptimo.

## **2.6. PARÁMETROS FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL**

### **2.6.1. PÉRDIDAS DE ENERGÍA**

En el punto de ingreso del agua en el floculador existe una energía de circulación, esta disminuye según avanza el agua a través del circuito ya que, atraviesa diferentes accesorios lo cual se conoce como pérdidas locales ( $h_l$ ) e inclusive pérdidas que existen por el roce del agua con las paredes de la tubería, lo cual se conoce como pérdidas por fricción ( $h_f$ ), el análisis de las pérdidas se analiza mediante la variación de energía que existe entre dos puntos de diferentes coordenadas, la energía siempre disminuye según aumenta la distancia recorrida, únicamente aumenta en caso de existir fuerzas externas que aumenten el impulso del agua como lo haría una bomba.

Las pérdidas se relacionan con la velocidad de circulación, la cota del punto de análisis, la presión del agua como se puede visualizar en la ilustración 4.



*Ilustración 4 VARIACIÓN DE LÍNEA DE ENERGÍA*

El teorema de Bernoulli permite evaluar estas pérdidas ya que, se supone que la energía a lo largo de una tubería es constante, pero como hemos visto, esto no es real debido a las mencionadas pérdidas del fluido en el tubo, basado en la Ecuación de Bernoulli, se pueden determinar las pérdidas de un sistema mediante la siguiente ecuación.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \Delta E$$

Donde:

Z = Altura con respecto a un nivel de referencia.

V = Velocidad media en la sección transversal.

P/γ = Presión en el eje del tubo.

α = Coeficiente de corrección de la energía cinética, al considerar distribuciones uniformes de velocidad en un flujo turbulento, α=1.

ΔE= Variación de energía.

g: Aceleración de la gravedad.

Como se puede visualizar en el punto dos existe una variación de energía la cual se genera por las pérdidas de fricción y locales, éstas pueden evaluarse de manera independiente según los materiales de tuberías y accesorios utilizados.

### 2.6.1.1. PÉRDIDAS LOCALES

Son las causadas por el cambio de movimiento que experimenta el fluido cuando cambia de dirección. Se les conoce también como pérdidas en accesorios, accidentales o singulares. A diferencia de la pérdida continua, no son causadas por la fricción, sino por fenómenos de

turbulencia originados en puntos específicos de los sistemas de tuberías. Estos puntos pueden ser: válvulas, codos, cambios de dirección, juntas, derivaciones, etc. (López Lambraño & Fuentes, 2018)

La medición de la energía perdida por accesorios se realiza mediante la aplicación de la próxima ecuación.

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

Donde:

$h_l$  = Pérdida de energía en m

$k$  = coeficiente sin dimensiones que depende del tipo de pérdida que se trate

$v$  = carga de velocidad, aguas abajo, de la zona de alteración del flujo

WaterCAD utiliza la velocidad que tiene el fluido después de atravesar el accesorio que genera la pérdida, este software realiza el cálculo automatizado de la pérdida aplicando la ecuación mostrada, siendo el valor de “ $k$ ” único factor que se debe ingresar de manera manual, este factor viene sugerido por fabricantes, o de manera teórica en base a diferentes estudios, sin embargo, el mismo programa sugiere unos valores que se presentan en la tabla 1, los cuales serán los que tomamos en el presente estudio.

*Tabla 1 ACCESORIOS Y COEFICIENTES QUE CONFORMAN EL FLOCULADOR HELICOIDAL*

<b>ACCESORIO</b>	<b>k</b>
<b>Válvula de compuerta</b>	0.39
<b>Codo de 90°</b>	0.8
<b>Tee flujo recto</b>	0.35
<b>Tee cambio de sentido de flujo</b>	1.28
<b>Empate</b>	0.08
<b>Codo 45°</b>	0.2
<b>Cruz flujo recto</b>	0.5
<b>Cruz cambio sentido de flujo</b>	0.75
<b>Cambio de diámetro</b>	0.57

### 2.6.1.2. PÉRDIDAS CONTINUAS O DE FRICCIÓN

Existen diferentes fórmulas para el cálculo de las pérdidas por fricción, cada autor recomienda ciertas condiciones que debe cumplir el fluido para reducir el error en el momento de evaluar las pérdidas mediante su fórmula, por ejemplo, el sistema de floculadores tubulares puede asimilarse a un sistema ramificado de tuberías, sistema en el cual el manual de WaterCAD recomienda utilizar el método de Hazen-Williams para el cálculo de pérdidas por fricción, el manual también indica que para flujo laminar y turbulento se puede utilizar el método de Darcy-Weisbach. Por las variables que incluye cada autor en la fórmula de pérdidas se analizó que las pérdidas calculadas mediante el método de Darcy-Weisbach son mayores, lo cual llega a generar mayores inconvenientes en el floculador tubular, por lo tanto, se analizara este autor para determinar las variaciones de energía existentes en el trayecto helicoidal del floculador.

#### 2.6.1.2.1. DARCY-WEISBACH

En el diseño y análisis de redes de distribución de agua potable, la ecuación de Darcy – Weisbach es la más empleada para poder calcular las pérdidas por fricción en una tubería, esta se puede aplicar para cualquier temperatura del agua, rango de velocidad, diámetros y longitudes de tubería. (Rafael A, 2012)

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

El coeficiente de fricción  $f$  en la ecuación de Darcy-Weisbach para la pérdida de flujo de líquido lineal bajo presión en un tubo cilíndrico cerrado se aproxima mediante una relación explícita (Papaevangelou, Evangelides, & Tzimopoulos, 2010)

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

Donde:

$hf$ : Pérdida de carga [m].

$f$ : Factor de fricción [sin dimensiones].

$D$ : Diámetro [m].

$l$ : Longitud del tubo [m].

$v$ : Velocidad media de flujo [m/s].

$g$ : Aceleración de la gravedad [ $m/s^2$ ].

## 2.7. EFICIENCIA HIDRÁULICA

La eficiencia hidráulica se evalúa analizando la pérdida de energía en el camino de la floculación; debe evaluarse el nivel de pérdidas en las combinaciones de diámetros y longitudes existentes, siendo la combinación que registre las menores pérdidas la más eficiente; sin embargo, debe evaluarse otro parámetro de manera conjunta, ya que al tener seleccionado el que tenga pocas pérdidas de energía reflejara que las presiones en la entrada y salida sean similares causando problemas en el área posterior de sedimentación e inclusive quizá produzca la ruptura del floc, por lo tanto, para determinar la combinación más eficiente se analizaran tanto factores hidráulicos como factores de floculación, de esta manera la eficiencia hidráulica será evaluada en cada diámetro, longitud y caudal que pueda tratar el floculador helicoidal a fin de determinar el de mejor funcionamiento.

## 2.8. SOFTWARE WATERCAD

WaterCAD es un software con algoritmos computacionales basados en el método del gradiente hidráulico, permite el análisis hidráulico de redes de agua y cualquier otro tipo de fluido Newtoniano al determinar la capacidad de presión en diferentes puntos del sistema, así como el caudal proporcional, la velocidad, pérdida en las tuberías que componen la red hidráulica; así como otros muchos parámetros de funcionamiento derivados de los elementos presentes en el sistema tales como: Bombas, válvulas de control, depósitos, etc. dependiendo de las características físicas del sistema y condiciones de demanda preestablecidas, de esta manera también se logra simular el sistema de floculación a base de tuberías. (GONZALEZ & GUTIERREZ , 2022)

Para poder simular el floculador helicoidal es necesario ingresar los parámetros del modelo a estudiar, se debe ingresar de manera detallada cada accesorio, longitud, diámetros ya que en base a ellos WaterCAD calculara las pérdidas del fluido al circular y a su vez de esta forma simular de manera más cercana la modelación virtual al circuito real para poder determinar mediante la modelación virtual la ubicación de los puntos más críticos de la circulación para poder sugerir soluciones y diseñar modelos óptimos del floculador helicoidal.

En campo existe armado un sistema piloto del floculador tubular helicoidal en el que se desea cumplir con los parámetros de manera correcta con las condiciones demandas por la norma nacional que exige en el tratamiento de agua potable, por lo tanto, todos los resultados obtenidos



en el presente estudios deben ser ensayados en campo con corridas reales a fin de demostrar la validez de la información o de necesitar ajustes para mejorar el trabajo del floculador.

Mediante WaterCAD se obtienen las velocidades, presiones y pérdidas de energía por fricción y locales, las velocidades que se obtienen son las teóricas en base al caudal circundante en determinado diámetro definido de los floculadores, las presiones dependerán de la orientación de las tuberías de la diferencia de cotas entre entrada y punto de análisis, las pérdidas locales lo obtiene mediante el coeficiente de los accesorios y la velocidad que circula, y las pérdidas de fricción por tres métodos distintos, uno es el de Hazen-Williams el cual el manual de WaterCAD recomienda usar para redes de distribución, el segundo el método de Darcy-Weisbach para flujo laminar y turbulento en general y el último método es el de Chezy-Manning utilizado cuando se trabajan con tuberías de grandes diámetros. (Sanchez Merlo, 2019)

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio de los floculadores tubulares que se encuentra en la planta de tratamiento de agua potable “Bayas” pertenecientes a la parroquia “Aurelio Bayas Martínez” de la provincia de Cañar, cantón Azogues, a 2797 m.s.n.m. Las coordenadas son: 2°42'45.92” S – 78°50'05.81 O”.

Su funcionamiento es convencional, es decir, todo el recorrido del flujo es debido a la gravedad. Los procesos implementados son: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El caudal de diseño para la planta es de 20 l/s los cuales están divididos en dos módulos similares para el proceso de purificación del agua.

La PTAP de “Bayas” trabaja para cubrir una demanda de 20 l/s y para su funcionamiento se tiene un canal de coagulación, dos floculadores con tabiques de hormigón armado con flujo transversal y flujo ascendente, dos sedimentadores de flujo vertical, 4 filtros rápidos y un tanque de cloración para la desinfección del agua.

Es en esta planta donde están construidos tres tipos geométricos de floculadores tubulares helicoidal, vertical y horizontal, los cuales procesan una cantidad determinada de caudal y se encuentran ubicados en la entrada de la PTAP para obtener una diferencia de cota con respecto a la llegada del flujo. Dichos floculadores están construidos en pequeños espacios debido al pequeño caudal que se maneja, por lo que es mucho más factible su construcción y no se necesita la construcción de una obra hidráulica para dicho proceso.



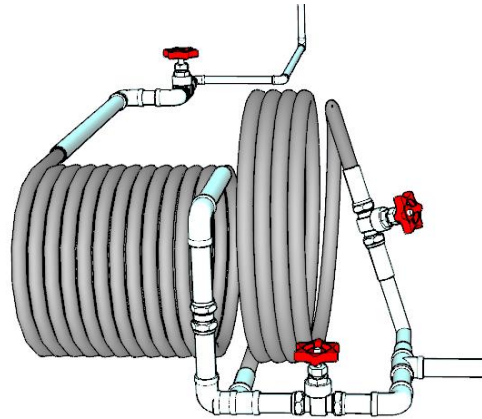
*Ilustración 5 UBICACIÓN DE PTAP "BAYAS"*

## **3.2. MODELACIÓN VIRTUAL DEL SISTEMA PILOTO**

### **3.2.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y MODELACIÓN VIRTUAL.**

El floculador tubular de forma helicoidal, se encuentra ya armado en las instalaciones de la PTAP “Bayas” y se han realizado ensayos en el mismo haciendo que por él circulen diferentes caudales de agua, donde se pudieron evidenciar problemas de funcionamiento para ciertas dotaciones, para poder conocer el comportamiento del agua dentro del floculador es necesario realizar una evaluación hidráulica mediante una modelación virtual, para esto se requiere conocer las condiciones físicas de construcción del floculador, tanto del diámetro del helicoide como también el diámetro del tubo por el cual circula el agua y luego estas características poderlas modelar mediante un diseño virtual.

Para este levantamiento topográfico del floculador ya existente se requirió de la estación total y cinta métrica, el levantamiento se generó en base a coordenadas relativas de x:1000 y:1000 z:2500, los datos obtenidos en el levantamiento fueron descargados al pc para posterior mediante un software computacional denominado CivilCAD generar los puntos bases del floculador helicoidal virtual y mediante líneas y polilíneas darle forma hasta obtener un modelo similar al físico construido en campo, estos modelos son la base para su evaluación mediante evaluación numéricas por WaterCAD.



*Ilustración 6 SISTEMA PILOTO DE FLOCULADOR HELICOIDAL ARMADO EN SITIO*

En base a la información de distancias y ubicaciones levantadas en campo, el software computación WaterCAD necesitará que se ingresen estos puntos para poder simular pérdidas y cambios de dirección en el fluido tal cual en campo ocurra, y así de esta manera poder asegurar que los resultados que se obtendrán serán reales dado que su configuración inicial fue similar al esqueleto existente, y mediante WaterCAD conocer qué problemas existentes y en qué punto del floculador se dan estos problemas para su posterior solución.

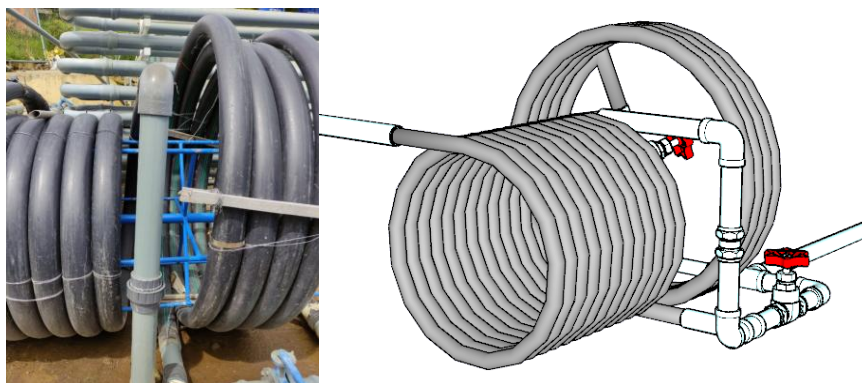
### **3.2.1.1. CONDUCCIÓN Y ENTRADA A LOS FLOCULADORES.**

El floculador helicoidal tubular es alimentado mediante tuberías PVC de 63 mm, las cuales conducen el agua desde el punto de entrada y mezcla con el coagulante hasta el floculador helicoidal, en el trayecto existen diferentes accesorios para regular el caudal y la dirección del agua como lo son codos, válvulas, uniones entre otros. Desde el punto de captación hasta la entrada del floculador helicoidal tubular existe una diferencia de altura de 2.9 m lo cual permite que el agua circule mediante el floculador a base de gravedad.



*Ilustración 7 TUBO ALIMENTADOR DEL FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR*

El floculador tubular helicoidal está conformado por una tubería de diámetro 110 mm enroscada en dos diámetros diferentes, el diámetro del helicoide varía después de una válvula reguladora, de esta manera puedan trabajar los dos tramos de forma conjunta o solo un tramo de floculador, sin embargo, existe una sola entrada hacia este floculador lo que quiere decir, que para que el floculador helicoidal cuyo tramo helicoidal es más grande trabaje requiere que el primer tramo esté también en funcionamiento, y según la apertura de la válvula la longitud del floculador helicoidal varíe y existan diferentes combinaciones de longitudes y diámetros helicoidales, aunque el diámetro de la tubería por donde circula el agua es constante.



*Ilustración 8 AUMENTO DE DIÁMETRO DEL HELICOIDE*

### **3.2.1.2. FLOCULADOR TUBULAR DE GEOMETRÍA HELICOIDAL.**

El floculador helicoidal está armado con una tubería de polietileno de alta densidad “PEAD” cuyo diámetro es de 110 mm y se enrosca de manera helicoidal en dos tramos cuyo diámetro de helicoide varía con el objetivo de realizar diferentes ensayos y obtener diferentes datos para con base en la variedad de información que se obtenga podamos validar la funcionalidad del

floculador su eficiencia hidráulica ante diferentes ensayos así como también poder conocer qué errores están existiendo en el transcurso de la floculación y poder determinar la solución óptima y mejorar el proceso dentro del floculador.

En el floculador helicoidal se calculó la necesidad de un tubo de 110 mm de diámetro con una longitud de 50 m y mediante una válvula se pueda unir a un tramo adicional de 25 m más de tubería, sin embargo, en campo estas medidas cambiaron según la disposición que se tiene para armar el floculador, por lo que las medidas finales fueron las de un primer tramo del floculador helicoidal de longitud de 57.2 metros enrollado en un diámetro 60 cm y el segundo tramo es de 25.1 metros enrollados en un esqueleto helicoidal de diámetro 85 cm, estos dos tramos están conectados por una válvula para que pueda trabajar solo el primer tramo de 57.2 m o los dos tramos de manera conjunta.

*Tabla 2 DETALLES DE LAS CONFIGURACIONES DEL FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR*

CONFIGURACIÓN	DIÁMETRO TUBERÍA [mm]	DIÁMETRO HELICOIDE [cm]	LONGITUD [m]
1	110	60	57.2
2	110	85	25.1
3	110	60 y 85	82.3

A través de estas diferentes configuraciones se hicieron circular 5 caudales distintos, de manera que se establezca la capacidad de funcionamiento del floculador ante altas y bajas demandas de caudales, si bien el floculador fue diseñado para cubrir una demanda de 1 l/s y su cumplimiento fue exitoso, las otras pruebas se realizaron para caudales de 0.25, 0.5, 0.75, 1 y 2 l/s, para cada uno de estos ensayos se obtuvo la información de presiones, velocidades, gradientes de velocidad y diferentes factores hidráulicos que complementan una floculación exitosa.

### **3.2.2. ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN EN FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL**

#### **3.2.2.1. TIEMPO DE RETENCIÓN.**

Para lograr obtener una floculación exitosa se deben cumplir con diferentes parámetros que recomienda Arboleda, en cuanto al tiempo de retención del flujo el autor indica que este debe estar entre un rango de 10-30 min, de esta manera se evita que el agua por ir muy lento genere sedimentación de los flocs y por ende obstrucción en las tuberías, o, por otro lado, al tener una

circulación demasiado rápida no se logra una completa mezcla y efecto del coagulante para que el floc se forme pasando al área de sedimentación el agua tal cual ingreso desde captación, este tiempo se evalúa mediante WaterCAD.

### 3.2.3. VELOCIDAD.

Respetando las recomendaciones de Arboleda para el proceso de floculación es necesario que la velocidad con la que el agua circula cumpla el rango de 0,10-0,60 m/s, la velocidad se obtiene mediante el software computacional WaterCAD las cuales se comparan mediante las ecuaciones de cálculo de relación entre caudal y área como se indica a continuación.

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

Donde:

V: Velocidad [m/s].

Q: Caudal [m<sup>3</sup>/s].

A: Área de la tubería [m<sup>2</sup>].

Las velocidades variarán según el caudal que circule, sin embargo, el área de circulación será constante debido a que el tubo es de un solo diámetro y no varía, con la recolección de los diferentes datos de velocidad se obtiene una tabla de información para poder corroborar el cumplimiento del parámetro de Arboleda para asegurar un resultado final exitoso de floculación.

### 3.2.4. GRADIENTE DE VELOCIDAD

El gradiente de velocidad es relacionado con el tiempo de retención y la pérdida de carga de energía del sistema de floculación, para poder evaluar la pérdida de carga de fricción se asume que se trabaja en un tubo de la longitud del floculador, por lo tanto, en los modelos sugeridos se puede variar este parámetro de manera que el gradiente de velocidad trabaje dentro de los parámetros de Jorge Arboleda quien sugiere un gradiente de velocidad dentro del rango entre 10-100 s<sup>-1</sup>



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

Donde:

$\bar{G}$ : Gradiente de velocidad medio [ $s^{-1}$ ].

$hf$ : Pérdida de carga [m].

$\rho$ : Densidad del agua [ $kg/m^3$ ].

$g$ : Aceleración de la gravedad [ $m/s^2$ ].

$\mu$ : Viscosidad dinámica del agua [ $kg/m \cdot s$ ].

$t$ : Tiempo teórico de retención [s].

*Tabla 3 CONDICIONES INICIALES DEL AGUA QUE ENTRA EN LA PTAP*

PARÁMETROS DEL AGUA CRUDA	
Viscosidad dinámica [ $kg/m \cdot s$ ]	$1.17 \cdot 10^{-3}$
Densidad [ $kg/m^3$ ]	999.33
Gravedad [ $m/s^2$ ]	9.8

### 3.3. DISEÑO DE UN MODELO DE FLOCULADOR HELICOIDAL CON UNA MEJOR EFICIENCIA HIDRÁULICA

El esqueleto piloto del floculador helicoidal se encuentra armado en la planta de tratamiento de agua potable de “Bayas”, el cual se estudia a continuación, se determina sus beneficios y falencias y a su vez se sugieren nuevos ajustes a realizar en el piloto físico de tal manera de corregir errores y permitir una eficiencia hidráulica que permita trabajar bajo diferentes demandas de caudales y que cumpla con las condiciones de floculación de Arboleda, el proceso de floculación es sumamente importante, ya que a partir de él continúa la sedimentación y posterior filtración, por lo tanto, es sumamente necesario que este proceso sea exitoso es entonces cuando las sugerencias de cambios a los floculadores aseguran un resultado final de agua potable de calidad.



Mediante la evaluación virtual podemos determinar que error de floculación se presenta y a su vez revisarlo, para poder proponer modelos que cumplan con las condiciones que Arboleda recomienda se utilizaran las diferentes fórmulas matemáticas que relacionan caudal, velocidad y distancia, para así poder llegar a estar dentro de las condicionales de floculación y asegurar que el proceso sea exitoso. Al contar ya con los esqueletos armados en sitio, cualquier modificación debe requerir de la mínima inversión económica posible por lo cual el enfoque en las soluciones es poder trabajar con los materiales ya existentes o a su vez realizar pequeños cambios que no representen costos excesivos o aumento del espacio físico que requiere el armado del floculador y tratando de evitar el aditamento de accesorios como válvulas, por lo tanto, nos enfocaremos en los parámetros mínimos de tiempo, velocidad y gradiente de velocidad del rango recomendado por Arboleda.

Cuando el problema se presenta en el tiempo de retención, va a ser necesario cambiar la longitud del floculador, entonces basados en la fórmula.

$$d = V * t$$

Donde:

V: Velocidad [m/s].

d: Distancia [m].

t: Tiempo [s].

Siendo el tiempo mínimo recomendado de 0.10 m/s el parámetro de partida, al conocer la velocidad de circulación que se obtiene del programa WaterCAD el cual de igual manera debe estar dentro del rango de 10-30 min, podremos determinar cuál sería la longitud mínima para cumplir con este parámetro de floculación de tiempo de retención, de igual manera cuando el parámetro a cumplir es la velocidad, tomamos de la literatura el tiempo mínimo recomendado de 10 min y en base a este tiempo y con la aplicación de la anterior fórmula podremos determinar cuál sería la distancia necesaria para cumplir con el parámetro de velocidad, este proceso es iterativo de manera de diseñar un floculador idóneo que cumpla con los parámetros recomendados de velocidad y tiempo.

El proceso es similar cuando se incumple con el gradiente de velocidad, con la diferencia de que el gradiente de velocidad está relacionado con las pérdidas por fricción de la tubería, creando la

necesidad de que si este parámetro se incumple se tenga que variar el diámetro de la tubería, partiendo de la próxima fórmula.

$$V = Q * A$$

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

Donde:

Q: Caudal [m<sup>3</sup>/s].

V: Velocidad [m/s].

A: Área del círculo [m<sup>2</sup>].

Teniendo como parámetros el caudal a servir y la velocidad recomendada por Arboleda se varía el diámetro de tal manera que interactuando con el software WaterCAD se obtengan las pérdidas por fricción de tal manera que al aplicar la fórmula de gradiente de velocidad este dentro del rango de 10-100 s<sup>-1</sup>.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE FLOCULACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE SOFTWARE COMPUTACIONAL WATERCAD

WaterCAD nos entrega una tabla de Excel donde se visualizan las diferentes condiciones con las que el agua circula a través del floculador helicoidal, aquí podremos comparar si los parámetros de floculación se ajustan a los recomendados por Arboleda en la tabla 4, en caso de que una de las tres condiciones no cumpla será suficiente para determinar que el floculador no cumple con un proceso exitoso. Al tener distintos caudales en diferentes longitudes, existen combinaciones donde el floculador podrá o no cumplir con los parámetros de floculación ante determinado caudal ensayado, por lo que, con el objetivo de poder analizar de manera sencilla la falla de cada floculador se señalará de rojo el parámetro que no se cumple para su posterior análisis y solución, la cual se ajustará a estar dentro de los rangos presentados a continuación.

*Tabla 4 PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN JORGE ARBOLEDA*

PARÁMETRO	RANGO
Velocidad	0.10-0.60 m/s
Tiempo de retención	10-30 min
Gradiente de velocidad	10-100 $s^{-1}$

Estos parámetros fueron obtenidos del autor Romero Rojas, quien en su libro “Potabilización del agua” cita al autor Jorge Arboleda, quien sugiere rangos de cada parámetro para asegurar una floculación exitosa.

#### 4.1.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN

##### 4.1.1.1. TIEMPO DE RETENCIÓN

En el anexo A se encuentra la tabla general de resultados para cada uno de los caudales ensayados, a continuación, podemos observar a modo de resumen como existen caudales que no pueden ser tratados en el floculador helicoidal y por lo tanto, requiere ajustarse a modificaciones para poder solucionar este problema, o por otro lado, el floculador puede cubrir

con el caudal demandado en las dos longitudes existentes. En la siguiente tabla número 5 podemos observar diferenciado de color rojo como para un caudal existe una longitud de floculador capaz de cubrir la demanda o como se puede observar para el caudal de 2 l/s el floculador es incapaz de cubrir la demanda.

*Tabla 5 RESULTADOS DE TIEMPOS DE RETENCIÓN FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR*

CAUDAL (l/s)	LONGITUD (m)	TIEMPO TEÓRICO (min)
0.25	57.221	30.00
	82.277	43.31
0.5	57.221	14.98
	82.277	21.63
0.75	57.221	10.02
	82.277	14.46
1	57.221	7.52
	82.277	10.86
2	57.221	3.74
	82.277	5.40

Es necesario corregir los fallos que se presentan en los tiempos de retención en el floculador, ya que este parámetro asegura que el coagulante tenga tiempo suficiente para interactuar en el agua.

#### 4.1.1.2. VELOCIDAD

En la tabla 6 podemos ver que de rojo se encuentra seleccionado únicamente el caudal de 0.25 y 0.5 l/s, lo cual indica que dentro del floculador exista sedimentación del floc, esto añadido al problema que este caudal presenta en el tiempo de retención de la tabla 5 nos confirma que el floculador no está trabajando de manera correcta en caudales bajos.

Tabla 6 RESULTADOS DE VELOCIDADES EN EL FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR

CAUDAL (l/s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD (m/s)
0.25	57.221	0.03
	82.277	0.03
0.5	57.221	0.06
	82.277	0.06
0.75	57.221	0.1
	82.277	0.1
1	57.221	0.12
	82.277	0.12
2	57.221	0.3
	82.277	0.3

#### 4.1.1.3. GRADIENTE DE VELOCIDAD

Como se mencionó previamente en un inicio los floculadores fueron construidos para poder cubrir una demanda de 1 l/s, el mismo que no presenta ningún inconveniente con los parámetros de floculación y la tabla 7 únicamente nos confirma que cuando existe variación del caudal de diseño existen también problemas que se presentan sobre todo en caudales bajos, los caudales bajos al tener problemas tanto en velocidad como tiempo de retención y ahora nuevamente problemas también en gradiente de velocidad lo único que genera es una eficiencia baja del floculador, sin embargo, si bien para corregir tiempos de retención y velocidades podemos únicamente ajustar las longitudes del floculador, al tener problemas de gradiente de velocidad como se muestra en la tabla 7, se va a requerir también el cambio de diámetros de la tubería de floculación.

Tabla 7 RESULTADOS DE GRADIENTE DE VELOCIDAD EL FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR

CAUDAL (l/s)	LONGITUD (m)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (s <sup>-1</sup> )
0.25	57.221	3.2
	82.277	3.2
0.5	57.221	8.6
	82.277	8.5
0.75	57.221	15.4
	82.277	15.0
1	57.221	23.3
	82.277	22.7
2	57.221	63.0
	82.277	61.0

## 4.1.2. ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE HIDRÁULICOS

### 4.1.2.1. PRESIÓN

En las tablas de anexo A se encuentran detallados los parámetros de cada caudal ensayados en las diferentes longitudes del floculador, se puede observar en la columna “Presión Nodo Final” que para ningún caudal existen valores negativos, lo cual nos indica que la diferencia de cotas entre la captación, conducción y entrada al floculador es suficiente para completar el circuito del floculador tubular helicoidal, por lo tanto, únicamente se necesitaran ajustes en los parámetros de floculación los cuales pueden hacerse en el mismo espacio donde se encuentra actualmente construido el floculador, ya que no se necesita mover la ubicación del mismo.

### 4.1.2.2. PÉRDIDAS DE ENERGÍA

Al indicar que no se tienen problemas de presiones se indica de manera paralela que las pérdidas de energía dentro del floculador no están generando inconvenientes, este apartado nos indica que el material de la tubería y los accesorios utilizados no son parámetros que influyen en los errores que el floculador tubular helicoidal presenta en los parámetros hidráulicos.

Tabla 8 RESULTADOS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR

CAUDAL (l/s)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	PÉRDIDAS TOTALES DARCY - WEISBACH (m)
0.25	101.6	0.0011920
	101.6	0.0017880
0.5	101.6	0.0056620
	101.6	0.0074500
0.75	101.6	0.0113200
	101.6	0.0154880
1	101.6	0.0193600
	101.6	0.0259140
2	101.6	0.0699580
	101.6	0.0931810

Al tener una tubería de diámetro constante de 110 mm podemos verificar como las pérdidas aumentan según aumenta el caudal debido a que aumenta el roce del agua con las paredes, por lo tanto, para poder solucionar los problemas de gradiente de velocidad presentados en la tabla 7 será necesario variar los diámetros de los tubos que conforman el floculador, ya que las pérdidas de energía están directamente relacionadas con el gradiente de velocidad.

## 5. MODELO SUGERIDO CON EL OBJETIVO DE MEJORAR LAS CONDICIONES DE FLUJO.

### 5.1. SUGERENCIAS DE CAMBIOS EN EL FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL PARA CORREGIR PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO.

Para las distintas demandas ensayadas, únicamente los caudales de 0.75 y 1 l/s pueden ser tratados bajo las condiciones que actualmente tiene el floculador tubular helicoidal, dado que los demás caudales incumplen con al menos un parámetro de floculación sugerido por Arboleda como se visualiza en la tabla 9, es por ello que se sugieren diferentes cambios en el armado inicial de manera de poder cubrir todos los caudales, este proceso de ajuste se desarrolla en el anexo B.

*Tabla 9 RESUMEN DE CAUDALES Y PROBLEMAS DE FLOCULACIÓN*

CAUDAL (l/s)	PROBLEMA		
	VELOCIDAD (m/s)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (s <sup>-1</sup> )	TIEMPO TEÓRICO (min)
0.25	X	X	X
0.5	X	X	-
0.75	-	-	-
1	-	-	-
2	-	-	X

Para corregir los problemas de funcionamiento, en el anexo B se indica como partimos de las demandas a cubrir y de los parámetros propuestos por Jorge Arboleda para así diseñar un floculador tubular helicoidal capaz de trabajar ante las distintas demandas. Los cambios recomendados están calculados de tal manera que los ajustes representen una inversión económica mínima y de igual manera en espacio, ya que el nuevo floculador se puede emplazar en el mismo espacio en el que actualmente está armado el modelo piloto para evitar mover el floculador o que requiera mayor espacio físico en la planta, en la tabla 10 se muestran los cambios a realizar en el floculador según el caudal a tratar de igual manera se muestran los resultados de los parámetros de floculación los cuales ahora están dentro de los rangos recomendados, estos



cambios se muestran en la imagen 9 en un modelo render de cómo sería el nuevo floculador después de realizar los cambios sugeridos.

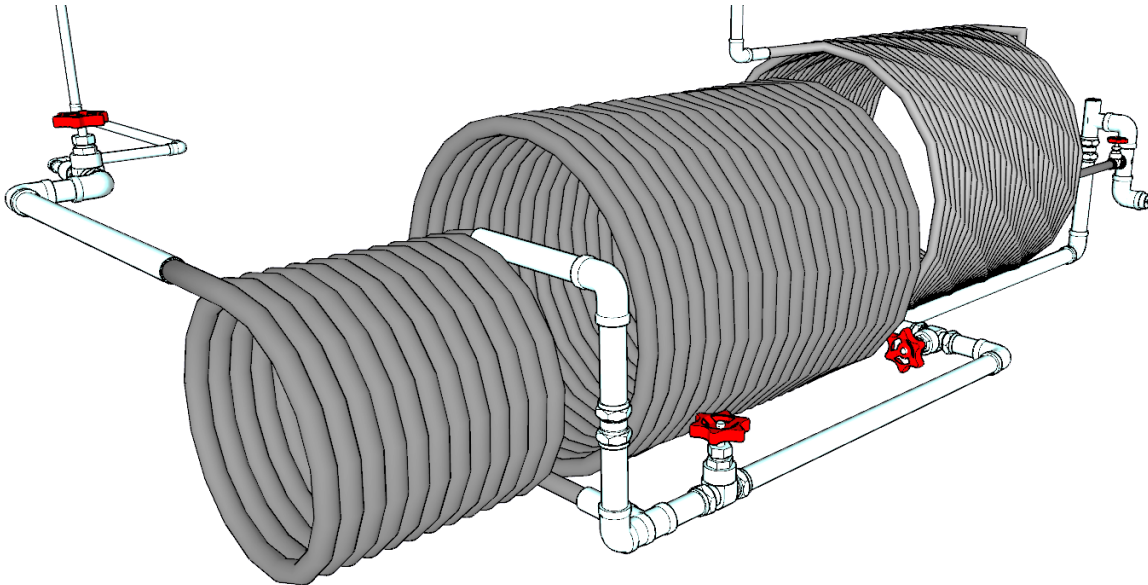
Para los caudales donde existe cambio de diámetro se propone una tubería de 2" dado su existencia en el mercado y la longitud de dicha tubería es la mínima requerida por la espiral helicoidal para que se pueda efectuar una floculación que cumpla con las indicaciones de Arboleda para tener una floculación exitosa.

*Tabla 10 CONFIGURACIONES SUGERIDAS DE CAMBIOS PARA EL MODELO SUGERIDO*

CAUDAL (l/s)	DIÁMETRO INTERNO TUBERÍA (mm)	LONGITUD ESPIRAL (MODELO SUGERIDO) (m)	DIÁMETRO HELICOIDAL (cm)	VELOCIDAD (m/s)	TIEMPO TEÓRICO (min)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (s <sup>-1</sup> )
<b>0.25</b>	50.8	163.6	85	0.123	22.242	28.04
<b>0.5</b>	50.8	163.6	85	0.247	11.122	73.51
<b>0.75</b>	101.6	57.3	60	0.1	10.315	15.61
<b>1</b>	101.6	168.3	85	0.123	22.739	21.27
<b>2</b>	101.6	168.3	85	0.247	11.369	57.25

Arboleda recomienda un tiempo de retención mínimo de 10 minutos, pero para el diseño utilizamos 11 minutos y evitar trabajar al límite obteniendo que para el diámetro de 2" con el caudal de 0.5 l/s la longitud requerida sea de 163.6 metros en un diámetro helicoidal de 85 cm la cual será la misma configuración utilizada también para el caudal de 0.25 l/s y así evitar la colocación de accesorios como válvulas que incrementen el costo del floculador, el mismo principio se utilizó para el caudal de 2 l/s, donde en base al tiempo de retención se calculó una nueva longitud de 168.3 metros y trabajara en el mismo radio helicoidal actual de 85 cm la misma que será utilizada para 1 l/s, si bien es cierto al diseñar los floculadores para 0.5 y 2 l/s respectivamente y utilizar la misma configuración para tratar caudales de 0.25 y 1 l/s, estas recomendaciones estarán sobredimensionadas para estos dos últimos caudales, esto se demuestra en el análisis de eficiencias hidráulicas.

Estas recomendaciones de ajustes al modelo actual, se construyen colocando una nueva sección espiral de 2" y alargando la que actualmente está armada de 4", dado que la demanda de 0.75 l/s si cumple con las condiciones el floculador inicial de 57.3 metros no se altera ni en longitud ni en radio, por lo tanto, el nuevo floculador helicoidal sugerido se emplaza como se ilustra en la siguiente imagen.



*Ilustración 9 MODELACIÓN VIRTUAL DEL FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL SUGERIDO*

En base a los nuevos ajustes sugeridos en el floculador, se puede visualizar en el render las configuraciones recomendadas y la construcción sugerida para evitar utilizar excesivo espacio extra, en la tabla 11 se indica el espacio físico que requiere el armado actual, en la actualidad se requiere un espacio de 1.9 metros y el modelo sugerido requiere de 5.5 metros, los 3.5 metros adicionales corresponden a la nueva tubería de 2" el aumento de la tubería de 4" y de los accesorios para uniones de los tres tramos de los floculadores helicoidales.

Tabla 11 DISPOSICIÓN DE ESPACIO FÍSICO PARA MODELO RECOMENDADO

CAUDAL (l/s)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	LONGITUD ESPIRAL (MODELO SUGERIDO) (m)	DIÁMETRO HELICOIDAL (cm)	ESPACIO FÍSICO EN PLANTA (m)
<b>0.25</b>	50.8	163.6	85	1.6
<b>0.5</b>	50.8	163.6	85	1.6
<b>0.75</b>	101.6	57.3	60	1.4
<b>1</b>	101.6	168.3	85	2
<b>2</b>	101.6	168.3	85	2

El nuevo floculador de 2" se coloca sobre un escalón de 20 cm para que por debajo de él pase la tubería de salida del floculador de 4" hacia el sedimentador y así evitar desarmar el esqueleto piloto que ya se encuentra en la PTAP Bayas y únicamente mediante una válvula añadir el nuevo tramo.

## 6. ANÁLISIS DE EFICIENCIA HIDRÁULICA DEL FLOCULADOR TUBULAR HELICOIDAL FLOCULADORES.

### 6.1. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA DEL FLOCULADOR TUBULAR ARMADO EN CAMPO.

En el literal 4.1.2.2 de Pérdidas de Energía se indicó que no existen problemas con este apartado, lo cual indica que el floculador tubular de geometría helicoidal es eficiente, si bien es cierto algunos caudales incumplen con los parámetros de floculación, todos los cinco caudales ensayados cumplen con los parámetros hidráulicos, esto quiere decir que la circulación del fluido es exitoso, en la siguiente tabla 12 se puede visualizar que tan eficiente es el floculador que actualmente se encuentra armado en la PTAP de Bayas, esta eficiencia es basada en la pérdida de energía que existe en el trayecto dentro de la tubería del floculador, su cálculo se puede ver detallado en el anexo C.

*Tabla 12 RESULTADOS DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS EN EL FLOCULADOR HELICOIDAL DE CAMPO*

CAUDAL (l/s)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	LONGITUD (m)	ENERGÍA DE PRESIÓN POR m.c.a. A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR	PÉRDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	ENERGÍA DE PRESIÓN POR m.c.a. A LA SALIDA DEL FLOCULADOR	EFICIENCIA (%)
0.25	101.6	57.2	1.61	0.0018	1.61	99.89
	101.6	82.3	1.61	0.0026	1.61	99.84
0.5	101.6	57.2	1.59	0.0068	1.59	99.57
	101.6	82.3	1.59	0.0097	1.58	99.39
0.75	101.6	57.2	1.56	0.0145	1.55	99.07
	101.6	82.3	1.56	0.0201	1.54	98.71
1	101.6	57.2	1.52	0.0251	1.49	98.35
	101.6	82.3	1.52	0.0343	1.48	97.74
2	101.6	57.2	1.24	0.0913	1.15	92.63
	101.6	82.3	1.24	0.1235	1.12	90.03

En el floculador tubular de geometría helicoidal únicamente se cumplen los parámetros de Jorge Arboleda en los caudales de 0.75 y 1 l/s, y de la tabla 12 podemos identificar que en estos caudales el floculador trabaja con una eficiencia alta, sin embargo, el análisis de eficiencias al realizarse en base a las pérdidas de energía, cuando el porcentaje de eficiencia es alto nos indica que no existe disminución en la presión entre la de entrada y la de la salida del floculador, por lo tanto, existen riesgos de ruptura del floc, es por esto que el floculador cuya eficiencia hidráulica es menor y que a su vez cumpla con los parámetros de floculación es el recomendado para el tratamiento del agua potable, estos dos caudales y recomendaciones de floculación se encuentran resumidos en la siguiente tabla.

*Tabla 13 TABLA DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS DE LOS CAUDALES QUE PUEDEN SER TRATADOS EN EL FLOCULADOR HELICOIDAL ACTUAL*

<b>CAUDAL (l/s)</b>	<b>DIÁMETRO INTERNO (mm)</b>	<b>ENERGÍA DE PRESIÓN POR m.c.a. A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR</b>	<b>PÉRDIDAS TOTALES DARCY- WEISBACH (m)</b>	<b>ENERGÍA DE PRESIÓN POR m.c.a. A LA SALIDA DEL FLOCULADOR</b>	<b>EFICIENCIA (%)</b>
<b>0.75</b>	101.6	1.56	0.0201	1.54	98.71
<b>1</b>	101.6	1.52	0.0343	1.48	97.74

## **6.2. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA DEL FLOCULADOR TUBULAR SUGERIDO.**

Con los ajustes sugeridos al floculador todos los caudales serán capaces de ser tratados y a su vez cumplen con los parámetros de floculación, estos nuevos floculadores procuran una reducción de presiones entre ingreso y salida de manera de asegurar la continuidad del floc hacia el área de sedimentación sin que este se rompa luego del efecto del coagulante, en la tabla 14 se muestra las sugerencias dadas para los caudales de 0.25 y 0.5 l/s tienen una variación de energía significativa al igual que el caudal de 2 l/s.

*Tabla 14 EFICIENCIA HIDRÁULICA DE MODELOS DE FLOCULADOR HELICOIDAL TUBULAR RECOMENDADOS*

CAUDAL (l/s)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	ENERGÍA DE PRESIÓN POR MCA A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR	PÉRDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	ENERGÍA DE PRESIÓN POR MCA A LA SALIDA DEL FLOCULADOR	EFICIENCIA (%)
<b>0.25</b>	50.8	0.92	0.1075	0.82	88.37
<b>0.5</b>	50.8	0.90	0.3695	0.54	59.13
<b>0.75</b>	101.6	1.52	0.0343	1.48	97.74
<b>1</b>	101.6	1.52	0.0632	1.45	95.83
<b>2</b>	101.6	1.24	0.2290	1.01	81.52

Podemos ver que si bien es cierto el caudal de 1 y 2 l/s circulan bajo la misma configuración, su diferencia entre eficiencias hidráulicas es del 14.32%. Esto nos indica que no existe gran variación de energía entre ingreso y salida para el caudal de 1 l/s, lo que se debe a que dicha demanda no requiere la totalidad el diámetro de 110 mm del floculador, y esto a su vez nos indica que el diámetro de tubería 110 mm es un espacio floculador sobredimensionado para este caudal, lo cual aumenta el costo de construcción, sin embargo, se utiliza este diámetro, ya que este floculador puede cubrir las dos demandas y evitaría la construcción de un floculador único para el caudal de 1 l/s.

## 7. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y DISCUSIÓN.

El presente trabajo de titulación planifico evaluar numéricamente la eficiencia hidráulica de un floculador tubular de geometría helicoidal armado en la planta de tratamiento de agua potable de la comunidad de Bayas, Azogues, mediante el software computacional WaterCAD se realizó la evaluación numérica y se pudo conocer los problemas que se tiene dentro del área de floculación, y de igual manera conocer de qué manera corregirlos para que el agua que se trate con este método alternativo sea de calidad.

### 7.1. CONCLUSIONES

El floculador helicoidal es un tubo de 4" de PEAD enroscado alrededor de un esqueleto metálico de diámetro variado, el primer tramo del esqueleto es de 60 cm y el segundo tramo de 85 cm alrededor de estos se enrolla una tubería de diámetro 110 mm, el primer tramo es de 57.2 metros y es unido entre por válvulas y tuberías con un tramo adicional de 25 m para un total de 82.3 m, al ser un tubo continuo se evitan las pérdidas locales por accesorios y, por lo tanto, el agua no tenga problemas de pérdidas de energía bruscas que lleguen a generar presiones negativas, sin embargo, aunque el agua cumpla el circuito a través del helicoide este no llega a cumplir ciertos parámetros de floculación que hay que tener en cuenta para que el coagulante realice un trabajo eficiente y los flocs se generen de manera idónea.

En el presente estudio se evaluaron los patrones hidráulicos del floculador tubular helicoidal donde se estudiaron patrones de velocidad, presión, tiempo de retención y pérdidas de energía, cuyos resultados arrojaron que en caudales muy bajos como en 0.25 l/s el tiempo en el que el agua recorre todo el floculador es de 30 minutos para la longitud de 57.2 metros y de 43.3 minutos para la longitud de 82.3 metros, tiempo superior a 30 minutos el cual es el máximo tiempo recomendado por Jorge Arboleda, esto genera que los flocs se acumulen y se sedimenten dentro de los tubos de PEAD, y por otro lado, en caudales altos como 2 l/s el tiempo de retención es de 3.74 minutos para los 57.2 metros y de 5.40 minutos para los 82.3 m y, tiempos inferiores a los 10 minutos mínimos que recomienda Jorge Arboleda ya que, en este caso en cambio, el coagulante no hace efecto y no se forman flocs, esto genera que en el área de sedimentación no se efectúe un trabajo eficaz, ya que existen micropartículas que se mueven con el agua y no se asientan, estos tiempos de retención se corrigen cambiando el diámetro de las tuberías o la longitud del floculador.

El caudal de 0.5 l/s por otro lado, cumple con los tiempos de retención recomendados, pero, esta demanda incumple con el rango de velocidades sugeridas, ya que, se obtuvo que la velocidad de circulación de este caudal es de 0.06 m/s inferior a los 0.1 m/s que recomienda Arboleda, por lo cual para este caudal también se necesitaran hacer ajustes en el armado actual.

En base al estudio hidráulico se determinó la necesidad de realizar ajustes en el armado actual del floculador tubular helicoidal, sugiriendo un modelo ideal que permiten cumplir con las condiciones de velocidad, tiempo de retención y gradiente de velocidad que recomienda Jorge Arboleda, y fueron basadas en realizar cambios al armado actual, pero necesitando la menor inyección monetaria posible, por lo cual se intentó mantener el armado actual y únicamente realizarle pequeñas adiciones según el caudal a tratar demande.

Los cambios propuestos se diseñaron para el caudal de 0.5 l/s, su configuración sugerida fue la misma que se utiliza para evaluar el caudal de 0.25 l/s, esto es posible debido a que entre los dos caudales varía el tiempo de retención y la velocidad, pero de igual manera están dentro del rango recomendado, entonces, para los dos caudales de 0.25 y 0.5 l/s se necesita cambiar de la tubería actual de 4" a una tubería de 2" con una longitud de 163.6 m la cual se añade al final del armado actual. Para el caudal de 2 l/s en cambio, se mantiene la tubería de diámetro 4" pero su longitud varía de 82.3 m a 168.3 m, es decir, se requiere adicionar 86 metros de tubería. Los cambios en los diámetros nos permiten cumplir con las condiciones de velocidad y de gradiente de velocidad, y los cambios de longitud nos permiten cumplir con el parámetro de tiempo de retención.

De la información obtenida del estudio de los parámetros hidráulicos y de floculación también se pudieron determinar las eficiencias hidráulicas con las que el floculador trabaja; de donde, se observa que existe una alta conservación de la energía a través del floculador porque las presiones en el punto de ingreso y en el de salida son similares en todos los diferentes caudales ensayados, sin embargo, si bien es cierto el agua completa el circuito helicoidal sin presentar problemas de presiones negativas, esta no cumple con parámetros de floculación por lo que la eficiencia hidráulica se evalúa únicamente en los modelos sugeridos, ya que este será el diseño que cumple con todas las condiciones recomendadas por Jorge Arboleda para indicar que es un floculador eficiente.

Del análisis de eficiencias hidráulicas del modelo sugerido se obtuvo que el caudal de 0.75 l/s es el más eficiente con un porcentaje de 97.74 %, y por otro lado el de menor eficiencia es de 59.13 % para el caudal de 0.5 l/s, la eficiencia hidráulica nos demuestra la conservación de la energía



a lo largo del trayecto floculador, entonces cuando la eficiencia es menor quiere decir que la presión varía significativamente, pero, esto a su vez es favorable, ya que, en el tramo final cuando el floc esté formado al ser sometido a una presión menor tendrá menos posibilidad de sufrir rupturas y así llegar de una manera idónea al área de sedimentación, las otras eficiencias fueron de 88.37 % para caudal e 0.25 l/s, 95.83 % para 1 l/s y para el caudal de 2 l/s la eficiencia es de 81.52 %, eficiencias de los modelos sugeridos.

Los modelos recomendados permiten cumplir con las condiciones de velocidad, tiempo de retención y gradiente de velocidad que recomienda Jorge Arboleda para una floculación exitosa, y fueron basadas en realizar cambios al armado actual, pero necesitando la menor inyección monetaria posible, por lo cual se intentó mantener el armado actual y únicamente realizarle pequeñas adiciones según el caudal a tratar demande.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

Para evitar sobredimensionamientos e inversión económica innecesaria es requerido diseñar los floculadores en base a las diferentes demandas a tratar, procurar que cada demanda tenga de manera individual sus propias condiciones de longitud, y diámetros de tuberías por donde va a circular, para que los gradientes de velocidad y a su vez las eficiencias hidráulicas permitan cuidar el floc y asegurar un proceso de sedimentación exitoso.

Al ser un floculador hecho a base de un tubo enroscado sin la necesidad de uniones o accesorios, se evita tener problemas de pérdidas de energía o presiones, y al ser enrollado alrededor de un esqueleto ocupa poco espacio físico en campo, por lo cual, en caso de tener un espacio pequeño se recomienda esta orientación geométrica helicoidal ante otras opciones.

Para futuros estudios si se requieren de datos más precisos se puede medir la variación de la presión en distintos puntos de la tubería, con el fin de comparar con el programa y hacer una adecuada calibración.

## **7.3. DISCUSIÓN**

En la planta de tratamiento de agua potable de “Bayas” ubicada en Azogues, Ecuador, aparte del floculador tubular helicoidal que se estudió en el presente trabajo de titulación, también están armados otras dos configuraciones geométricas de orientación tanto vertical como horizontal, estas dos conformadas por tuberías PVC, dichas variaciones de floculador fueron estudiadas por (GONZALEZ & GUTIERREZ , 2022) los cuales realizaron una evaluación de la eficiencia

hidráulica de estos dos floculadores para conocer el comportamiento del agua y el cumplimiento de los distintos parámetros hidráulicos y de floculación.

Del estudio de estos floculadores se obtuvo que en el floculador tubular de orientación vertical, donde el agua tiene un sentido de sube y baja en tuberías paralelas unidas por codos, un problema que se presentó es que, dependiendo de la diferencia de cota entre el punto más alto del floculador y el de la captación, pueden existir problemas de presiones negativas según avanza la circulación del agua dentro del floculador haciendo que el agua no complete el circuito de tuberías, también cuando el agua se encuentra en la tubería de subida al ser en contra de la gravedad en la parte inferior donde cambia el sentido del agua, puede generarse acumulación de los flocs por lo que se necesitan válvulas de compuerta en cada punto inferior del floculador vertical para el lavado de lodos. La excavación para lograr la cota requerida para evitar presiones negativas y las válvulas de lavado en la parte inferior del floculador aumentan el coste de esta orientación. Del floculador horizontal donde el agua tiene un sentido de ida y vuelta, en cambio, si bien no existen problemas de presiones, este floculador presenta problemas en el espacio físico requerido debido a que necesita más área física en el suelo para su emplazamiento, problemas que, como se analizó en el presente estudio, no se presentan en el floculador helicoidal debido a su armado enroscado ocupa poco espacio y al no tener accesorios no tiene pérdidas locales evitando problemas de pérdidas de energía que deriven en presiones negativas.

Si bien es cierto que las tres configuraciones geométricas pueden ajustarse para cumplir con la demanda de caudal que la planta de tratamiento requiera y con una buena eficiencia hidráulica, el armado de un floculador helicoidal requiere menos accesorios, como tee, válvula de aire, válvula de lavado de lodos, que si se requieren en las otras dos configuraciones geométrías; haciendo que la inversión económica sea menor para el floculador tubular helicoidal, y a su vez, la falta dichos accesorios evitará la acumulación de flocs en zonas muertas de los cambios de dirección del sentido del flujo asegurando un arrastre continuo de flocs hasta el área de sedimentación, de igual manera su enroscado hace que se requiera menor espacio físico en campo, por lo que, el floculador tubular helicoidal presenta ventajas ante las otras dos configuraciones.

### Referencias

- Deleón Castro, M., Hernández Martínez, M., & Rivas, J. (2016). *“Interpretación cuantitativa de prueba de trazadores en un campo geotérmico de alta entalpía en México.* EL SALVADOR - EL SALVADOR: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
- Agudelo Córdova, M., & Pinzón Quevedo. (2015). *Elaboración y mejoramiento de un prototipo de floculador hidráulico de Tubos de PVC para caudales menores o iguales a 10 L.P.S. .* Universidad Cooperativa de Colombia.
- Anda Valades, L. (2021). *Tiempo de retención hidráulico (TRH) en plantas de agua potable.* TAMAULIPAS - MEXICO: iagua.
- CARDENAS JARAMILLO, D., & PATIÑO GUARACA, F. (2010). *Estudios y diseños definitivos del sistema de agua, potable de la comunidad de Tutucán, canton Paute, Provincia del Azuay.* CUENCA - ECUADOR: Universidad de Cuenca.
- DOMINGUEZ AMOROCHO, M. (2010). *OPTIMIZACION DE LA COAGULACION - FLOCULACION EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA SEDE RECREACIONAL CAMPOALEGRE - CAJASAN.* BUCARAMANGA - COLOMBIA: CAJASAN.
- Domínguez, A., Rivera Huerta, M., & Piña Soberanis, M. (2008). *INCIDENCIA DEL GRADIENTE DE VELOCIDAD EN LA EFICIENCIA DE LA ELECTROCOAGULACIÓN PARA REMOVER ARSÉNICO EN UN REACTOR A FLUJO PISTÓN.* CARACAS - VENEZUELA: INCI.
- GONZALEZ, P., & GUTIERREZ , J. (2022). *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.* CUENCA - ECUADOR: UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- HERNANDEZ , M., & RONDON, J. (2018). *Diseño y experimentación de un floculador hidráulico piloto en piedra 1.* NARIÑO - COLOMBIA: UNIVERSIDAD DE NARIÑO.
- López Lambraño, A., & Fuentes, C. (2018). *ECUACIONES PARA EL COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE ENERGÍA EN DISPOSITIVOS DE AMPLIACIÓN DEL DIÁMETRO.* CORDOBA - COLOMBIA: Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Montería.
- Melo, A., & Herrera , J. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA .* 2016: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.

- NÚÑEZ CAMACHO, M. (2015). *DEFINICIÓN DE OPCIONES DE MEJORA EN UNA PLANTA DE AGUA POTABLE*. QUITO - ECUADOR: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Papaevangelou, G., Evangelides, C., & Tzimopoulos, C. (2010). *A NEW EXPLICIT RELATION FOR FRICTION COEFFICIENT F IN THE DARCY - WEISBACH EQUATION*. Grecia: Aristotle University of Thessaloniki.
- PNUD. (2018). *El Derecho al Agua*. Organización Mundial de la Salud.
- Rafael A, F. (2012). *EFFECTO DEL USO DE LA ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH VS LA ECUACIÓN DE HAZEN-WILLIAMS EN EL DISEÑO DE REDES MATRICES*. BOGOTA - COLOMBIA: Universidad de Los Andes.
- Romero Rojas, J. (1999). *POTABILIZACION DEL AGUA*. México - México: Alfaomega.
- SÁNCHEZ DEL CASTILLO, M. (2016). *Fragmentación de impactos megaurbanos y umbrales hídricos*. Veracruz - México: DIAZ, F.
- Sanchez Merlo, Y. (2019). *MODELAMIENTO COMPUTARIZADO DE SISTEMAS DE*. Cd. México - México.
- SARTORI, M., & DE OLIVEIRA, R. (s.f.). *AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DA FÓRMULA DE CAMP E STEIN (1943) PARA CÁLCULO DO GRADIENTE MÉDIO DE VELOCIDADE PARA FLOCULADORES TUBULARES HELICOIDAIS*. BRASÍLIA-BRASIL: ABRH.
- TZOUPANOS, N., & ZOUBOULIS, A. (2008). *Coagulation Flocculation Processes in Water Wastewater Treatment . The Application of New Generation of Chemical Reagents*. Greece - Athens: IASME/WSEAS.
- Villegas, R., & Letterman, R. (1976). *Optimizing flocculator power input*. *Journal of the Environmental Engineering Division, Proceedings*. ASCE.

## Anexos

### ANEXO A. Tablas de resultados obtenidas de WaterCAD en los diferentes caudales ensayados.

- Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.25 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 57.2 metros.

Nodo Inicial	Nodo Final	Accesorio en el Nodo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas Totales Darcy - Weisbach (m)	Presión Nodo Final (m.c.a.)	Tiempo Teórico (s)	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
R-1	J-1	Codo de 90°	6.104	58	0.09	0.002084	0.172	67.82	16.0
J-1	J-2	Tee flujo recto	0.175	58	0.09	0.000298	0.186	1.94	35.8
J-2	J-3	Válvula de compuerta	0.299	58	0.09	0.000298	0.196	3.32	27.4
J-3	J-4	Empalme	6.125	58	0.09	0.001786	0.279	68.06	14.8
J-4	J-5	Codo de 90°	1.708	58	0.09	0.000893	0.288	18.98	19.8
J-5	J-6	Codo de 90°	1.474	58	0.09	0.000595	1.759	16.38	17.4
J-6	J-7	Tee cambio sentido de flujo	1.831	58	0.09	0.001191	1.767	20.34	22.1
J-7	J-8	Codo de 90°	0.815	58	0.09	0.000595	1.616	9.06	23.5
J-8	J-9	Cambio de diámetro	0.256	58	0.09	0.000298	1.64	2.84	29.6
J-9	J-10	Válvula de compuerta	0.32	101.6	0.03	0	1.67	10.67	0.0
J-10	J-11	Codo de 90°	0.23	101.6	0.03	0.000298	1.691	7.67	18.0
J-11	J-12	Codo de 90°	0.465	101.6	0.03	0	1.701	15.50	0.0
J-12	J-13	Empalme	1.946	101.6	0.03	0	1.614	64.87	0.0
J-13	J-14	Floculador	0.5	101.6	0.03	0	1.614	16.67	0.0
J-14	J-15	Floculador	0.617	101.6	0.03	0	1.929	20.57	0.0
J-15	J-16	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.412	16.20	0.0
J-16	J-17	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.801	19.90	0.0
J-17	J-18	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.693	16.20	0.0
J-18	J-19	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.147	19.90	0.0
J-19	J-20	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.728	16.20	0.0
J-20	J-21	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.664	19.90	0.0

J-21	J-22	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.021	16.20	0.0
J-22	J-23	Floculador	0.596	101.6	0.03	0	2.605	19.87	0.0
J-23	J-24	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.812	16.20	0.0
J-24	J-25	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.529	19.90	0.0
J-25	J-27	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.049	16.20	0.0
J-27	J-28	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.633	19.90	0.0
J-28	J-29	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.711	16.20	0.0
J-29	J-30	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.242	19.90	0.0
J-30	J-31	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.675	16.20	0.0
J-31	J-32	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.775	19.90	0.0
J-32	J-33	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.439	16.20	0.0
J-33	J-34	Floculador	0.596	101.6	0.03	0	1.849	19.87	0.0
J-34	J-35	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.615	16.20	0.0
J-35	J-36	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.866	19.90	0.0
J-36	J-37	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.341	16.20	0.0
J-37	J-38	Floculador	0.596	101.6	0.03	0.000298	2.782	19.87	11.2
J-38	J-39	Floculador	0.487	101.6	0.03	0	2.733	16.23	0.0
J-39	J-40	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.22	19.90	0.0
J-40	J-41	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.774	16.20	0.0
J-41	J-42	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.638	19.90	0.0
J-42	J-43	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.953	16.20	0.0
J-43	J-44	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.546	19.90	0.0
J-44	J-45	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.806	16.20	0.0
J-45	J-46	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.588	19.90	0.0
J-46	J-47	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.12	16.20	0.0
J-47	J-48	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.655	19.90	0.0
J-48	J-49	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.674	16.20	0.0
J-49	J-50	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	2.168	19.93	0.0
J-50	J-51	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.625	16.20	0.0

J-51	J-52	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.796	19.90	0.0
J-52	J-53	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.504	16.20	0.0
J-53	J-54	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.909	19.90	0.0
J-54	J-55	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.626	16.20	0.0
J-55	J-56	Floculador	0.595	101.6	0.03	0	1.808	19.83	0.0
J-56	J-57	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.268	16.20	0.0
J-57	J-58	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.755	19.90	0.0
J-58	J-59	Floculador	0.487	101.6	0.03	0	2.766	16.23	0.0
J-59	J-60	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.294	19.90	0.0
J-60	J-61	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.828	16.20	0.0
J-61	J-62	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	1.621	19.93	0.0
J-62	J-63	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.889	16.20	0.0
J-63	J-64	Floculador	0.596	101.6	0.03	0	2.483	19.87	0.0
J-64	J-65	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.79	16.20	0.0
J-65	J-66	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.643	19.90	0.0
J-66	J-67	Floculador	0.487	101.6	0.03	0	2.193	16.23	0.0
J-67	J-68	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.686	19.90	0.0
J-68	J-69	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.646	16.20	0.0
J-69	J-70	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.095	19.90	0.0
J-70	J-71	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.568	16.20	0.0
J-71	J-72	Floculador	0.596	101.6	0.03	0.000298	2.807	19.87	11.2
J-72	J-73	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.567	16.20	0.0
J-73	J-74	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	1.974	19.93	0.0
J-74	J-75	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.645	16.20	0.0
J-75	J-76	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.758	19.90	0.0
J-76	J-77	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.196	16.20	0.0
J-77	J-78	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.721	19.90	0.0
J-78	J-79	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.79	16.20	0.0
J-79	J-80	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	2.363	19.93	0.0

J-80	J-81	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.884	16.20	0.0
J-81	J-82	Floculador	0.596	101.6	0.03	0	1.613	19.87	0.0
J-82	J-83	Floculador	0.485	101.6	0.03	0	1.828	16.17	0.0
J-83	J-84	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.415	19.90	0.0
J-84	J-85	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.766	16.20	0.0
J-85	J-86	Floculador	0.596	101.6	0.03	0	2.691	19.87	0.0
J-86	J-87	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.267	16.20	0.0
J-87	J-88	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	1.725	19.93	0.0
J-88	J-89	Floculador	0.485	101.6	0.03	0	1.626	16.17	0.0
J-89	J-90	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	2.025	19.93	0.0
J-90	J-91	Floculador	0.485	101.6	0.03	0	2.506	16.17	0.0
J-91	J-92	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.812	19.90	0.0
J-92	J-93	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.623	16.20	0.0
J-93	J-94	Floculador	0.599	101.6	0.03	0	2.042	19.97	0.0
J-94	J-95	Floculador	0.485	101.6	0.03	0	1.673	16.17	0.0
J-95	J-96	Floculador	0.269	101.6	0.03	0	1.613	8.97	0.0
J-96	J-97	Codo de 90°	0.934	101.6	0.03	0	1.364	31.13	0.0
J-97	J-102	Empalme	0.88	101.6	0.03	0	2.243	29.33	0.0
J-102	J-103	Codo de 90°	0.57	101.6	0.03	0.000298	2.811	19.00	11.5
J-103	J-104	Tee flujo recto	0.179	101.6	0.03	0	2.811	5.97	0.0
J-104	J-105	Válvula de compuerta	0.5	101.6	0.03	0	2.811	16.67	0.0
J-105	J-106	Codo de 90°	0.5	101.6	0.03	0	2.811	16.67	0.0
J-106	J-107	Tee cambio sentido de flujo	0.55	101.6	0.03	0	2.811	18.33	0.0
J-107	J-108	Codo de 45°	4.502	101.6	0.03	0	2.956	150.07	0.0
J-108	J-109	Codo de 90°	0.449	101.6	0.03	0.000298	2.956	14.97	12.9
J-109	J-110	Empalme	1	101.6	0.03	0	1.958	33.33	0.0
J-110	J-113	Cruz cambio sentido de flujo	0.23	101.6	0.03	0	1.728	7.67	0.0
J-113	J-114	Codo de 90°	0.301	101.6	0.03	0	1.728	10.03	0.0
J-114	J-115	Empalme	0.28	101.6	0.03	0	2.008	9.33	0.0



J-115	J-116	Codo de 90°	0.3	101.6	0.03	0	2.307	10.00	0.0
J-116	J-117	0	0.211	101.6	0.03	0	2.307	7.03	0.0

- Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.25 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 82.3 metros.

Nodo Inicial	Nodo Final	Accesorio en el Nodo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas Totales Darcy - Weisbach (m)	Presión Nodo Final (m.c.a.)	Tiempo Teórico (s)	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
R-1	J-1	Codo de 90°	6.104	58	0.09	0.002084	0.172	67.82	16.0
J-1	J-2	Tee flujo recto	0.175	58	0.09	0.000298	0.186	1.94	35.8
J-2	J-3	Válvula de compuerta	0.299	58	0.09	0.000298	0.196	3.32	27.4
J-3	J-4	Empalme	6.125	58	0.09	0.001786	0.279	68.06	14.8
J-4	J-5	Codo de 90°	1.708	58	0.09	0.000893	0.288	18.98	19.8
J-5	J-6	Codo de 90°	1.474	58	0.09	0.000595	1.759	16.38	17.4
J-6	J-7	Tee cambio sentido de flujo	1.831	58	0.09	0.001191	1.767	20.34	22.1
J-7	J-8	Codo de 90°	0.815	58	0.09	0.000595	1.616	9.06	23.5
J-8	J-9	Cambio de diámetro	0.256	58	0.09	0.000298	1.64	2.84	29.6
J-9	J-10	Válvula de compuerta	0.32	101.6	0.03	0	1.67	10.67	0.0
J-10	J-11	Codo de 90°	0.23	101.6	0.03	0.000298	1.691	7.67	18.0
J-11	J-12	Codo de 90°	0.465	101.6	0.03	0	1.701	15.50	0.0
J-12	J-13	Empalme	1.946	101.6	0.03	0	1.614	64.87	0.0
J-13	J-14	Floculador	0.5	101.6	0.03	0	1.614	16.67	0.0
J-14	J-15	Floculador	0.617	101.6	0.03	0	1.929	20.57	0.0
J-15	J-16	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.412	16.20	0.0
J-16	J-17	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.801	19.90	0.0
J-17	J-18	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.693	16.20	0.0
J-18	J-19	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.147	19.90	0.0

J-19	J-20	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.728	16.20	0.0
J-20	J-21	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.664	19.90	0.0
J-21	J-22	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.021	16.20	0.0
J-22	J-23	Floculador	0.596	101.6	0.03	0	2.605	19.87	0.0
J-23	J-24	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.812	16.20	0.0
J-24	J-25	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.529	19.90	0.0
J-25	J-27	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.049	16.20	0.0
J-27	J-28	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.633	19.90	0.0
J-28	J-29	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.711	16.20	0.0
J-29	J-30	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.242	19.90	0.0
J-30	J-31	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.675	16.20	0.0
J-31	J-32	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.775	19.90	0.0
J-32	J-33	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.439	16.20	0.0
J-33	J-34	Floculador	0.596	101.6	0.03	0	1.849	19.87	0.0
J-34	J-35	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.615	16.20	0.0
J-35	J-36	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.866	19.90	0.0
J-36	J-37	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.341	16.20	0.0
J-37	J-38	Floculador	0.596	101.6	0.03	0.000298	2.782	19.87	11.2
J-38	J-39	Floculador	0.487	101.6	0.03	0	2.733	16.23	0.0
J-39	J-40	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.22	19.90	0.0
J-40	J-41	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.774	16.20	0.0
J-41	J-42	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.638	19.90	0.0
J-42	J-43	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.953	16.20	0.0
J-43	J-44	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.546	19.90	0.0
J-44	J-45	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.806	16.20	0.0
J-45	J-46	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.588	19.90	0.0
J-46	J-47	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.12	16.20	0.0
J-47	J-48	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.655	19.90	0.0
J-48	J-49	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.674	16.20	0.0

J-49	J-50	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	2.168	19.93	0.0
J-50	J-51	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.625	16.20	0.0
J-51	J-52	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.796	19.90	0.0
J-52	J-53	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.504	16.20	0.0
J-53	J-54	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.909	19.90	0.0
J-54	J-55	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.626	16.20	0.0
J-55	J-56	Floculador	0.595	101.6	0.03	0	1.808	19.83	0.0
J-56	J-57	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.268	16.20	0.0
J-57	J-58	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.755	19.90	0.0
J-58	J-59	Floculador	0.487	101.6	0.03	0	2.766	16.23	0.0
J-59	J-60	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.294	19.90	0.0
J-60	J-61	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.828	16.20	0.0
J-61	J-62	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	1.621	19.93	0.0
J-62	J-63	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.889	16.20	0.0
J-63	J-64	Floculador	0.596	101.6	0.03	0	2.483	19.87	0.0
J-64	J-65	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.79	16.20	0.0
J-65	J-66	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.643	19.90	0.0
J-66	J-67	Floculador	0.487	101.6	0.03	0	2.193	16.23	0.0
J-67	J-68	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.686	19.90	0.0
J-68	J-69	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.646	16.20	0.0
J-69	J-70	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.095	19.90	0.0
J-70	J-71	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.568	16.20	0.0
J-71	J-72	Floculador	0.596	101.6	0.03	0.000298	2.807	19.87	11.2
J-72	J-73	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.567	16.20	0.0
J-73	J-74	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	1.974	19.93	0.0
J-74	J-75	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.645	16.20	0.0
J-75	J-76	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	1.758	19.90	0.0
J-76	J-77	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.196	16.20	0.0
J-77	J-78	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.721	19.90	0.0

J-78	J-79	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.79	16.20	0.0
J-79	J-80	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	2.363	19.93	0.0
J-80	J-81	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	1.884	16.20	0.0
J-81	J-82	Floculador	0.596	101.6	0.03	0	1.613	19.87	0.0
J-82	J-83	Floculador	0.485	101.6	0.03	0	1.828	16.17	0.0
J-83	J-84	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.415	19.90	0.0
J-84	J-85	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.766	16.20	0.0
J-85	J-86	Floculador	0.596	101.6	0.03	0	2.691	19.87	0.0
J-86	J-87	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.267	16.20	0.0
J-87	J-88	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	1.725	19.93	0.0
J-88	J-89	Floculador	0.485	101.6	0.03	0	1.626	16.17	0.0
J-89	J-90	Floculador	0.598	101.6	0.03	0	2.025	19.93	0.0
J-90	J-91	Floculador	0.485	101.6	0.03	0	2.506	16.17	0.0
J-91	J-92	Floculador	0.597	101.6	0.03	0	2.812	19.90	0.0
J-92	J-93	Floculador	0.486	101.6	0.03	0	2.623	16.20	0.0
J-93	J-94	Floculador	0.599	101.6	0.03	0	2.042	19.97	0.0
J-94	J-95	Floculador	0.485	101.6	0.03	0	1.673	16.17	0.0
J-95	J-96	Floculador	0.269	101.6	0.03	0	1.613	8.97	0.0
J-96	J-97	Codo de 90°	0.934	101.6	0.03	0	1.364	31.13	0.0
J-97	J-98	Empalme	0.88	101.6	0.03	0	2.243	29.33	0.0
J-98	J-99	Codo de 90°	0.57	101.6	0.03	0.000298	2.811	19.00	11.5
J-99	J-100	Tee cambio sentido de flujo	0.175	101.6	0.03	0	2.811	5.83	0.0
J-100	J-101	Empalme	0.4	101.6	0.03	0	2.811	13.33	0.0
J-101	J-102	Floculador	0.5	101.6	0.03	0	2.811	16.67	0.0
J-102	J-104	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	2.668	16.43	0.0
J-104	J-105	Floculador	0.492	101.6	0.03	0	2.289	16.40	0.0
J-105	J-106	Floculador	0.61	101.6	0.03	0	1.68	20.33	0.0
J-106	J-107	Floculador	0.494	101.6	0.03	0	1.283	16.47	0.0
J-107	J-108	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	1.118	20.37	0.0

J-108	J-109	Floculador	0.494	101.6	0.03	0	1.303	16.47	0.0
J-109	J-110	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	1.831	20.37	0.0
J-110	J-111	Floculador	0.492	101.6	0.03	0	2.317	16.40	0.0
J-111	J-112	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	2.742	20.37	0.0
J-112	J-113	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	2.797	16.43	0.0
J-113	J-114	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	2.478	20.37	0.0
J-114	J-115	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	2.017	16.43	0.0
J-115	J-116	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	1.435	20.37	0.0
J-116	J-117	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	1.155	16.43	0.0
J-117	J-118	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	1.189	20.37	0.0
J-118	J-119	Floculador	0.492	101.6	0.03	0	1.511	16.40	0.0
J-119	J-120	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	2.11	20.37	0.0
J-120	J-121	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	2.549	16.43	0.0
J-121	J-122	Floculador	0.612	101.6	0.03	0	2.809	20.40	0.0
J-122	J-123	Floculador	0.493	101.6	0.03	0.000298	2.701	16.43	12.3
J-123	J-124	Floculador	0.61	101.6	0.03	0	2.231	20.33	0.0
J-124	J-125	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	1.739	16.43	0.0
J-125	J-126	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	1.248	20.37	0.0
J-126	J-127	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	1.113	16.43	0.0
J-127	J-128	Floculador	0.609	101.6	0.03	0	1.342	20.30	0.0
J-128	J-129	Floculador	0.494	101.6	0.03	0	1.768	16.47	0.0
J-129	J-130	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	2.372	20.37	0.0
J-130	J-131	Floculador	0.494	101.6	0.03	0	2.716	16.47	0.0
J-131	J-132	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	2.783	20.37	0.0
J-132	J-133	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	2.526	16.43	0.0
J-133	J-134	Floculador	0.61	101.6	0.03	0	1.956	20.33	0.0
J-134	J-135	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	1.486	16.43	0.0
J-135	J-136	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	1.137	20.37	0.0
J-136	J-137	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	1.164	16.43	0.0

J-137	J-138	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	1.564	20.37	0.0
J-138	J-139	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	2.047	16.43	0.0
J-139	J-140	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	2.591	20.37	0.0
J-140	J-141	Floculador	0.493	101.6	0.03	0	2.802	16.43	0.0
J-141	J-142	Floculador	0.398	101.6	0.03	0	2.767	13.27	0.0
J-142	J-143	Floculador	0.611	101.6	0.03	0	2.379	20.37	0.0
J-143	J-144	Floculador	0.492	101.6	0.03	0	1.9	16.40	0.0
J-144	J-152	Floculador	0.518	101.6	0.03	0	1.421	17.27	0.0
J-152	J-153	Cruz flujo recto	0.18	101.6	0.03	0	1.303	6.00	0.0
J-153	J-154	Válvula de compuerta	0.74	101.6	0.03	0	1.996	24.67	0.0
J-154	J-155	Codo de 90°	0.872	101.6	0.03	0.000298	2.811	29.07	9.3
J-155	J-156	Tee cambio sentido de flujo	0.6	101.6	0.03	0	2.811	20.00	0.0
J-156	J-157	Codo de 45°	4.502	101.6	0.03	0	2.955	150.07	0.0
J-157	J-158	Codo de 90°	0.449	101.6	0.03	0	2.955	14.97	0.0
J-158	J-159	Empalme	1	101.6	0.03	0	1.957	33.33	0.0
J-159	J-160	Codo de 90°	0.23	101.6	0.03	0	1.728	7.67	0.0
J-160	J-161	Codo de 90°	0.301	101.6	0.03	0.000298	1.727	10.03	15.8
J-161	J-164	Empalme	0.28	101.6	0.03	0	2.007	9.33	0.0
J-164	J-165	Codo de 90°	0.3	101.6	0.03	0	2.306	10.00	0.0
J-165	J-166	0	0.225	101.6	0.03	0	2.306	7.50	0.0

- Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.5 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 57.2 metros.

Nodo Inicial	Nodo Final	Accesorio en el Nodo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas Totales Darcy - Weisbach (m)	Presión Nodo Final (m.c.a.)	Tiempo Teórico (s)	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
R-1	J-1	Codo de 90°	6.104	58	0.19	0.007144	0.167	32.13	43.1
J-1	J-2	Tee flujo recto	0.175	58	0.19	0.000893	0.181	0.92	90.1
J-2	J-3	Válvula de compuerta	0.299	58	0.19	0.000893	0.19	1.57	68.9
J-3	J-4	Empalme	6.125	58	0.19	0.006251	0.268	32.24	40.3
J-4	J-5	Codo de 90°	1.708	58	0.19	0.002977	0.275	8.99	52.6
J-5	J-6	Codo de 90°	1.474	58	0.19	0.002977	1.743	7.76	56.7
J-6	J-7	Tee cambio sentido de flujo	1.831	58	0.19	0.00387	1.75	9.64	58.0
J-7	J-8	Codo de 90°	0.815	58	0.19	0.002381	1.596	4.29	68.2
J-8	J-9	Cambio de diámetro	0.256	58	0.19	0.001191	1.619	1.35	86.0
J-9	J-10	Válvula de compuerta	0.32	101.6	0.06	0	1.649	5.33	0.0
J-10	J-11	Codo de 90°	0.23	101.6	0.06	0.000298	1.671	3.83	25.5
J-11	J-12	Codo de 90°	0.465	101.6	0.06	0.000298	1.68	7.75	17.9
J-12	J-13	Empalme	1.946	101.6	0.06	0	1.593	32.43	0.0
J-13	J-14	Floculador	0.5	101.6	0.06	0	1.593	8.33	0.0
J-14	J-15	Floculador	0.617	101.6	0.06	0	1.908	10.28	0.0
J-15	J-16	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.391	8.10	0.0
J-16	J-17	Floculador	0.597	101.6	0.06	0.000298	2.78	9.95	15.8
J-17	J-18	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.672	8.10	0.0
J-18	J-19	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.126	9.95	0.0
J-19	J-20	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.707	8.10	0.0
J-20	J-21	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.642	9.95	0.0
J-21	J-22	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.999	8.10	0.0
J-22	J-23	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	2.584	9.93	0.0

J-23	J-24	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.791	8.10	0.0
J-24	J-25	Floculador	0.597	101.6	0.06	0.000298	2.507	9.95	15.8
J-25	J-27	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.027	8.10	0.0
J-27	J-28	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.611	9.95	0.0
J-28	J-29	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.69	8.10	0.0
J-29	J-30	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.221	9.95	0.0
J-30	J-31	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.654	8.10	0.0
J-31	J-32	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.754	9.95	0.0
J-32	J-33	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.417	8.10	0.0
J-33	J-34	Floculador	0.596	101.6	0.06	0.000298	1.827	9.93	15.8
J-34	J-35	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.594	8.10	0.0
J-35	J-36	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.844	9.95	0.0
J-36	J-37	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.319	8.10	0.0
J-37	J-38	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	2.761	9.93	0.0
J-38	J-39	Floculador	0.487	101.6	0.06	0	2.712	8.12	0.0
J-39	J-40	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.199	9.95	0.0
J-40	J-41	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.753	8.10	0.0
J-41	J-42	Floculador	0.597	101.6	0.06	0.000298	1.617	9.95	15.8
J-42	J-43	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.931	8.10	0.0
J-43	J-44	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.525	9.95	0.0
J-44	J-45	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.784	8.10	0.0
J-45	J-46	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.567	9.95	0.0
J-46	J-47	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.098	8.10	0.0
J-47	J-48	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.634	9.95	0.0
J-48	J-49	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.653	8.10	0.0
J-49	J-50	Floculador	0.598	101.6	0.06	0.000298	2.146	9.97	15.8
J-50	J-51	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.603	8.10	0.0
J-51	J-52	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.774	9.95	0.0
J-52	J-53	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.483	8.10	0.0



J-53	J-54	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.887	9.95	0.0
J-54	J-55	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.604	8.10	0.0
J-55	J-56	Floculador	0.595	101.6	0.06	0	1.786	9.92	0.0
J-56	J-57	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.246	8.10	0.0
J-57	J-58	Floculador	0.597	101.6	0.06	0.000298	2.733	9.95	15.8
J-58	J-59	Floculador	0.487	101.6	0.06	0	2.744	8.12	0.0
J-59	J-60	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.272	9.95	0.0
J-60	J-61	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.806	8.10	0.0
J-61	J-62	Floculador	0.598	101.6	0.06	0	1.599	9.97	0.0
J-62	J-63	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.866	8.10	0.0
J-63	J-64	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	2.46	9.93	0.0
J-64	J-65	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.768	8.10	0.0
J-65	J-66	Floculador	0.597	101.6	0.06	0.000298	2.621	9.95	15.8
J-66	J-67	Floculador	0.487	101.6	0.06	0	2.171	8.12	0.0
J-67	J-68	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.664	9.95	0.0
J-68	J-69	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.624	8.10	0.0
J-69	J-70	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.073	9.95	0.0
J-70	J-71	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.546	8.10	0.0
J-71	J-72	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	2.785	9.93	0.0
J-72	J-73	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.545	8.10	0.0
J-73	J-74	Floculador	0.598	101.6	0.06	0	1.952	9.97	0.0
J-74	J-75	Floculador	0.486	101.6	0.06	0.000298	1.622	8.10	17.5
J-75	J-76	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.735	9.95	0.0
J-76	J-77	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.173	8.10	0.0
J-77	J-78	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.698	9.95	0.0
J-78	J-79	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.767	8.10	0.0
J-79	J-80	Floculador	0.598	101.6	0.06	0	2.341	9.97	0.0
J-80	J-81	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.862	8.10	0.0
J-81	J-82	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	1.59	9.93	0.0

J-82	J-83	Floculador	0.485	101.6	0.06	0.000298	1.806	8.08	17.6
J-83	J-84	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.392	9.95	0.0
J-84	J-85	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.743	8.10	0.0
J-85	J-86	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	2.668	9.93	0.0
J-86	J-87	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.244	8.10	0.0
J-87	J-88	Floculador	0.598	101.6	0.06	0	1.702	9.97	0.0
J-88	J-89	Floculador	0.485	101.6	0.06	0	1.603	8.08	0.0
J-89	J-90	Floculador	0.598	101.6	0.06	0	2.002	9.97	0.0
J-90	J-91	Floculador	0.485	101.6	0.06	0.000298	2.483	8.08	17.6
J-91	J-92	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.788	9.95	0.0
J-92	J-93	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.6	8.10	0.0
J-93	J-94	Floculador	0.599	101.6	0.06	0	2.019	9.98	0.0
J-94	J-95	Floculador	0.485	101.6	0.06	0	1.65	8.08	0.0
J-95	J-96	Floculador	0.269	101.6	0.06	0	1.59	4.48	0.0
J-96	J-97	Codo de 90°	0.934	101.6	0.06	0.000298	1.341	15.57	12.7
J-97	J-102	Empalme	0.88	101.6	0.06	0	2.219	14.67	0.0
J-102	J-103	Codo de 90°	0.57	101.6	0.06	0.000298	2.788	9.50	16.2
J-103	J-104	Tee flujo recto	0.179	101.6	0.06	0	2.788	2.98	0.0
J-104	J-105	Válvula de compuerta	0.5	101.6	0.06	0	2.788	8.33	0.0
J-105	J-106	Codo de 90°	0.5	101.6	0.06	0.000298	2.788	8.33	17.3
J-106	J-107	Tee cambio sentido de flujo	0.55	101.6	0.06	0.000298	2.787	9.17	16.5
J-107	J-108	Codo de 45°	4.502	101.6	0.06	0.000298	2.932	75.03	5.8
J-108	J-109	Codo de 90°	0.449	101.6	0.06	0.000298	2.931	7.48	18.3
J-109	J-110	Empalme	1	101.6	0.06	0	1.933	16.67	0.0
J-110	J-113	Cruz cambio sentido de flujo	0.23	101.6	0.06	0.000298	1.703	3.83	25.5
J-113	J-114	Codo de 90°	0.301	101.6	0.06	0	1.703	5.02	0.0
J-114	J-115	Empalme	0.28	101.6	0.06	0	1.983	4.67	0.0
J-115	J-116	Codo de 90°	0.3	101.6	0.06	0.000298	2.282	5.00	22.3
J-116	J-117	0	0.211	101.6	0.06	0.000298	2.282	3.52	26.6

- Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.5 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 82.3 metros.

Nodo Inicial	Nodo Final	Accesorio en el Nodo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas Totales Darcy - Weisbach (m)	Presión Nodo Final (m.c.a.)	Tiempo Teórico (s)	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
R-1	J-1	Codo de 90°	6.104	58	0.19	0.007144	0.167	32.13	43.1
J-1	J-2	Tee flujo recto	0.175	58	0.19	0.000893	0.181	0.92	90.1
J-2	J-3	Válvula de compuerta	0.299	58	0.19	0.000893	0.19	1.57	68.9
J-3	J-4	Empalme	6.125	58	0.19	0.006251	0.268	32.24	40.3
J-4	J-5	Codo de 90°	1.708	58	0.19	0.002977	0.275	8.99	52.6
J-5	J-6	Codo de 90°	1.474	58	0.19	0.002977	1.743	7.76	56.7
J-6	J-7	Tee cambio sentido de flujo	1.831	58	0.19	0.00387	1.75	9.64	58.0
J-7	J-8	Codo de 90°	0.815	58	0.19	0.002381	1.596	4.29	68.2
J-8	J-9	Cambio de diámetro	0.256	58	0.19	0.001191	1.619	1.35	86.0
J-9	J-10	Válvula de compuerta	0.32	101.6	0.06	0	1.649	5.33	0.0
J-10	J-11	Codo de 90°	0.23	101.6	0.06	0.000298	1.671	3.83	25.5
J-11	J-12	Codo de 90°	0.465	101.6	0.06	0.000298	1.68	7.75	17.9
J-12	J-13	Empalme	1.946	101.6	0.06	0	1.593	32.43	0.0
J-13	J-14	Floculador	0.5	101.6	0.06	0	1.593	8.33	0.0
J-14	J-15	Floculador	0.617	101.6	0.06	0	1.908	10.28	0.0
J-15	J-16	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.391	8.10	0.0
J-16	J-17	Floculador	0.597	101.6	0.06	0.000298	2.78	9.95	15.8
J-17	J-18	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.672	8.10	0.0
J-18	J-19	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.126	9.95	0.0
J-19	J-20	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.707	8.10	0.0
J-20	J-21	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.642	9.95	0.0

J-21	J-22	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.999	8.10	0.0
J-22	J-23	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	2.584	9.93	0.0
J-23	J-24	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.791	8.10	0.0
J-24	J-25	Floculador	0.597	101.6	0.06	0.000298	2.507	9.95	15.8
J-25	J-27	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.027	8.10	0.0
J-27	J-28	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.611	9.95	0.0
J-28	J-29	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.69	8.10	0.0
J-29	J-30	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.221	9.95	0.0
J-30	J-31	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.654	8.10	0.0
J-31	J-32	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.754	9.95	0.0
J-32	J-33	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.417	8.10	0.0
J-33	J-34	Floculador	0.596	101.6	0.06	0.000298	1.827	9.93	15.8
J-34	J-35	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.594	8.10	0.0
J-35	J-36	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.844	9.95	0.0
J-36	J-37	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.319	8.10	0.0
J-37	J-38	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	2.761	9.93	0.0
J-38	J-39	Floculador	0.487	101.6	0.06	0	2.712	8.12	0.0
J-39	J-40	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.199	9.95	0.0
J-40	J-41	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.753	8.10	0.0
J-41	J-42	Floculador	0.597	101.6	0.06	0.000298	1.617	9.95	15.8
J-42	J-43	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.931	8.10	0.0
J-43	J-44	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.525	9.95	0.0
J-44	J-45	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.784	8.10	0.0
J-45	J-46	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.567	9.95	0.0
J-46	J-47	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.098	8.10	0.0
J-47	J-48	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.634	9.95	0.0
J-48	J-49	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.653	8.10	0.0
J-49	J-50	Floculador	0.598	101.6	0.06	0.000298	2.146	9.97	15.8
J-50	J-51	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.603	8.10	0.0

J-51	J-52	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.774	9.95	0.0
J-52	J-53	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.483	8.10	0.0
J-53	J-54	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.887	9.95	0.0
J-54	J-55	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.604	8.10	0.0
J-55	J-56	Floculador	0.595	101.6	0.06	0	1.786	9.92	0.0
J-56	J-57	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.246	8.10	0.0
J-57	J-58	Floculador	0.597	101.6	0.06	0.000298	2.733	9.95	15.8
J-58	J-59	Floculador	0.487	101.6	0.06	0	2.744	8.12	0.0
J-59	J-60	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.272	9.95	0.0
J-60	J-61	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.806	8.10	0.0
J-61	J-62	Floculador	0.598	101.6	0.06	0	1.599	9.97	0.0
J-62	J-63	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.866	8.10	0.0
J-63	J-64	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	2.46	9.93	0.0
J-64	J-65	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.768	8.10	0.0
J-65	J-66	Floculador	0.597	101.6	0.06	0.000298	2.621	9.95	15.8
J-66	J-67	Floculador	0.487	101.6	0.06	0	2.171	8.12	0.0
J-67	J-68	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.664	9.95	0.0
J-68	J-69	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.624	8.10	0.0
J-69	J-70	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.073	9.95	0.0
J-70	J-71	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.546	8.10	0.0
J-71	J-72	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	2.785	9.93	0.0
J-72	J-73	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.545	8.10	0.0
J-73	J-74	Floculador	0.598	101.6	0.06	0	1.952	9.97	0.0
J-74	J-75	Floculador	0.486	101.6	0.06	0.000298	1.622	8.10	17.5
J-75	J-76	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	1.735	9.95	0.0
J-76	J-77	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.173	8.10	0.0
J-77	J-78	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.698	9.95	0.0
J-78	J-79	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.767	8.10	0.0
J-79	J-80	Floculador	0.598	101.6	0.06	0	2.341	9.97	0.0

J-80	J-81	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	1.862	8.10	0.0
J-81	J-82	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	1.59	9.93	0.0
J-82	J-83	Floculador	0.485	101.6	0.06	0.000298	1.806	8.08	17.6
J-83	J-84	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.392	9.95	0.0
J-84	J-85	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.743	8.10	0.0
J-85	J-86	Floculador	0.596	101.6	0.06	0	2.668	9.93	0.0
J-86	J-87	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.244	8.10	0.0
J-87	J-88	Floculador	0.598	101.6	0.06	0	1.702	9.97	0.0
J-88	J-89	Floculador	0.485	101.6	0.06	0	1.603	8.08	0.0
J-89	J-90	Floculador	0.598	101.6	0.06	0	2.002	9.97	0.0
J-90	J-91	Floculador	0.485	101.6	0.06	0.000298	2.483	8.08	17.6
J-91	J-92	Floculador	0.597	101.6	0.06	0	2.788	9.95	0.0
J-92	J-93	Floculador	0.486	101.6	0.06	0	2.6	8.10	0.0
J-93	J-94	Floculador	0.599	101.6	0.06	0	2.019	9.98	0.0
J-94	J-95	Floculador	0.485	101.6	0.06	0	1.65	8.08	0.0
J-95	J-96	Floculador	0.269	101.6	0.06	0	1.59	4.48	0.0
J-96	J-97	Codo de 90°	0.934	101.6	0.06	0.000298	1.341	15.57	12.7
J-97	J-98	Empalme	0.88	101.6	0.06	0	2.219	14.67	0.0
J-98	J-99	Codo de 90°	0.57	101.6	0.06	0.000298	2.788	9.50	16.2
J-99	J-100	Tee cambio sentido de flujo	0.175	101.6	0.06	0.000298	2.788	2.92	29.2
J-100	J-101	Empalme	0.4	101.6	0.06	0	2.788	6.67	0.0
J-101	J-102	Floculador	0.5	101.6	0.06	0	2.788	8.33	0.0
J-102	J-104	Floculador	0.493	101.6	0.06	0	2.645	8.22	0.0
J-104	J-105	Floculador	0.492	101.6	0.06	0	2.265	8.20	0.0
J-105	J-106	Floculador	0.61	101.6	0.06	0	1.657	10.17	0.0
J-106	J-107	Floculador	0.494	101.6	0.06	0	1.26	8.23	0.0
J-107	J-108	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	1.094	10.18	0.0
J-108	J-109	Floculador	0.494	101.6	0.06	0.000298	1.279	8.23	17.4
J-109	J-110	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	1.807	10.18	0.0

J-110	J-111	Floculador	0.492	101.6	0.06	0	2.293	8.20	0.0
J-111	J-112	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	2.718	10.18	0.0
J-112	J-113	Floculador	0.493	101.6	0.06	0	2.773	8.22	0.0
J-113	J-114	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	2.454	10.18	0.0
J-114	J-115	Floculador	0.493	101.6	0.06	0	1.993	8.22	0.0
J-115	J-116	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	1.411	10.18	0.0
J-116	J-117	Floculador	0.493	101.6	0.06	0.000298	1.13	8.22	17.4
J-117	J-118	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	1.164	10.18	0.0
J-118	J-119	Floculador	0.492	101.6	0.06	0	1.486	8.20	0.0
J-119	J-120	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	2.085	10.18	0.0
J-120	J-121	Floculador	0.493	101.6	0.06	0	2.524	8.22	0.0
J-121	J-122	Floculador	0.612	101.6	0.06	0	2.785	10.20	0.0
J-122	J-123	Floculador	0.493	101.6	0.06	0	2.677	8.22	0.0
J-123	J-124	Floculador	0.61	101.6	0.06	0	2.207	10.17	0.0
J-124	J-125	Floculador	0.493	101.6	0.06	0.000298	1.715	8.22	17.4
J-125	J-126	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	1.224	10.18	0.0
J-126	J-127	Floculador	0.493	101.6	0.06	0	1.089	8.22	0.0
J-127	J-128	Floculador	0.609	101.6	0.06	0	1.317	10.15	0.0
J-128	J-129	Floculador	0.494	101.6	0.06	0	1.744	8.23	0.0
J-129	J-130	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	2.347	10.18	0.0
J-130	J-131	Floculador	0.494	101.6	0.06	0	2.692	8.23	0.0
J-131	J-132	Floculador	0.611	101.6	0.06	0.000298	2.758	10.18	15.7
J-132	J-133	Floculador	0.493	101.6	0.06	0	2.501	8.22	0.0
J-133	J-134	Floculador	0.61	101.6	0.06	0	1.931	10.17	0.0
J-134	J-135	Floculador	0.493	101.6	0.06	0	1.461	8.22	0.0
J-135	J-136	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	1.113	10.18	0.0
J-136	J-137	Floculador	0.493	101.6	0.06	0	1.14	8.22	0.0
J-137	J-138	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	1.54	10.18	0.0
J-138	J-139	Floculador	0.493	101.6	0.06	0	2.023	8.22	0.0

J-139	J-140	Floculador	0.611	101.6	0.06	0.000298	2.566	10.18	15.7
J-140	J-141	Floculador	0.493	101.6	0.06	0	2.777	8.22	0.0
J-141	J-142	Floculador	0.398	101.6	0.06	0	2.742	6.63	0.0
J-142	J-143	Floculador	0.611	101.6	0.06	0	2.354	10.18	0.0
J-143	J-144	Floculador	0.492	101.6	0.06	0	1.875	8.20	0.0
J-144	J-152	Floculador	0.518	101.6	0.06	0	1.396	8.63	0.0
J-152	J-153	Cruz flujo recto	0.18	101.6	0.06	0	1.278	3.00	0.0
J-153	J-154	Válvula de compuerta	0.74	101.6	0.06	0.000298	1.97	12.33	14.2
J-154	J-155	Codo de 90°	0.872	101.6	0.06	0.000298	2.786	14.53	13.1
J-155	J-156	Tee cambio sentido de flujo	0.6	101.6	0.06	0.000298	2.785	10.00	15.8
J-156	J-157	Codo de 45°	4.502	101.6	0.06	0.000298	2.93	75.03	5.8
J-157	J-158	Codo de 90°	0.449	101.6	0.06	0	2.93	7.48	0.0
J-158	J-159	Empalme	1	101.6	0.06	0.000298	1.931	16.67	12.2
J-159	J-160	Codo de 90°	0.23	101.6	0.06	0	1.702	3.83	0.0
J-160	J-161	Codo de 90°	0.301	101.6	0.06	0.000298	1.701	5.02	22.3
J-161	J-164	Empalme	0.28	101.6	0.06	0	1.981	4.67	0.0
J-164	J-165	Codo de 90°	0.3	101.6	0.06	0	2.28	5.00	0.0
J-165	J-166	0	0.225	101.6	0.06	0.000298	2.28	3.75	25.8



- Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.75 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 57.2 metros.

Nodo Inicial	Nodo Final	Accesorio en el Nodo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas Totales Darcy - Weisbach (m)	Presión Nodo Final (m.c.a.)	Tiempo Teórico (s)	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
R-1	J-1	Codo de 90°	6.104	58	0.28	0.01518	0.159	21.80	76.3
J-1	J-2	Tee flujo recto	0.175	58	0.28	0.001488	0.172	0.63	141.2
J-2	J-3	Válvula de compuerta	0.299	58	0.28	0.002381	0.18	1.07	136.6
J-3	J-4	Empalme	6.125	58	0.28	0.012204	0.252	21.88	68.3
J-4	J-5	Codo de 90°	1.708	58	0.28	0.006548	0.256	6.10	94.8
J-5	J-6	Codo de 90°	1.474	58	0.28	0.005953	1.721	5.26	97.3
J-6	J-7	Tee cambio sentido de flujo	1.831	58	0.28	0.00893	1.722	6.54	106.9
J-7	J-8	Codo de 90°	0.815	58	0.28	0.004763	1.566	2.91	117.0
J-8	J-9	Cambio de diámetro	0.256	58	0.28	0.002679	1.588	0.91	156.6
J-9	J-10	Válvula de compuerta	0.32	101.6	0.09	0.000298	1.617	3.56	26.5
J-10	J-11	Codo de 90°	0.23	101.6	0.09	0.000298	1.639	2.56	31.2
J-11	J-12	Codo de 90°	0.465	101.6	0.09	0.000595	1.648	5.17	31.0
J-12	J-13	Empalme	1.946	101.6	0.09	0.000298	1.56	21.62	10.7
J-13	J-14	Floculador	0.5	101.6	0.09	0	1.56	5.56	0.0
J-14	J-15	Floculador	0.617	101.6	0.09	0	1.876	6.86	0.0
J-15	J-16	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	2.358	5.40	21.5
J-16	J-17	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.748	6.63	0.0
J-17	J-18	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.64	5.40	0.0
J-18	J-19	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.094	6.63	0.0
J-19	J-20	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	1.675	5.40	21.5
J-20	J-21	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.61	6.63	0.0
J-21	J-22	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.967	5.40	0.0
J-22	J-23	Floculador	0.596	101.6	0.09	0	2.551	6.62	0.0

J-23	J-24	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	2.758	5.40	21.5
J-24	J-25	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.474	6.63	0.0
J-25	J-27	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.994	5.40	0.0
J-27	J-28	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.579	6.63	0.0
J-28	J-29	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	1.657	5.40	21.5
J-29	J-30	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.188	6.63	0.0
J-30	J-31	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.621	5.40	0.0
J-31	J-32	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.721	6.63	0.0
J-32	J-33	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	2.384	5.40	21.5
J-33	J-34	Floculador	0.596	101.6	0.09	0	1.795	6.62	0.0
J-34	J-35	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.561	5.40	0.0
J-35	J-36	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.811	6.63	0.0
J-36	J-37	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	2.286	5.40	21.5
J-37	J-38	Floculador	0.596	101.6	0.09	0	2.727	6.62	0.0
J-38	J-39	Floculador	0.487	101.6	0.09	0	2.678	5.41	0.0
J-39	J-40	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.165	6.63	0.0
J-40	J-41	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	1.719	5.40	21.5
J-41	J-42	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.583	6.63	0.0
J-42	J-43	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.898	5.40	0.0
J-43	J-44	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.491	6.63	0.0
J-44	J-45	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	2.75	5.40	21.5
J-45	J-46	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.533	6.63	0.0
J-46	J-47	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.065	5.40	0.0
J-47	J-48	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.6	6.63	0.0
J-48	J-49	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.619	5.40	0.0
J-49	J-50	Floculador	0.598	101.6	0.09	0.000298	2.113	6.64	19.4
J-50	J-51	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.57	5.40	0.0
J-51	J-52	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.74	6.63	0.0
J-52	J-53	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.449	5.40	0.0

J-53	J-54	Floculador	0.597	101.6	0.09	0.000298	1.853	6.63	19.4
J-54	J-55	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.57	5.40	0.0
J-55	J-56	Floculador	0.595	101.6	0.09	0	1.752	6.61	0.0
J-56	J-57	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.212	5.40	0.0
J-57	J-58	Floculador	0.597	101.6	0.09	0.000298	2.699	6.63	19.4
J-58	J-59	Floculador	0.487	101.6	0.09	0	2.71	5.41	0.0
J-59	J-60	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.238	6.63	0.0
J-60	J-61	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.772	5.40	0.0
J-61	J-62	Floculador	0.598	101.6	0.09	0.000298	1.565	6.64	19.4
J-62	J-63	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.832	5.40	0.0
J-63	J-64	Floculador	0.596	101.6	0.09	0	2.426	6.62	0.0
J-64	J-65	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.734	5.40	0.0
J-65	J-66	Floculador	0.597	101.6	0.09	0.000298	2.586	6.63	19.4
J-66	J-67	Floculador	0.487	101.6	0.09	0	2.136	5.41	0.0
J-67	J-68	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.629	6.63	0.0
J-68	J-69	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.59	5.40	0.0
J-69	J-70	Floculador	0.597	101.6	0.09	0.000298	2.038	6.63	19.4
J-70	J-71	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.511	5.40	0.0
J-71	J-72	Floculador	0.596	101.6	0.09	0	2.751	6.62	0.0
J-72	J-73	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.51	5.40	0.0
J-73	J-74	Floculador	0.598	101.6	0.09	0.000298	1.917	6.64	19.4
J-74	J-75	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.588	5.40	0.0
J-75	J-76	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.701	6.63	0.0
J-76	J-77	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.139	5.40	0.0
J-77	J-78	Floculador	0.597	101.6	0.09	0.000298	2.663	6.63	19.4
J-78	J-79	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.732	5.40	0.0
J-79	J-80	Floculador	0.598	101.6	0.09	0	2.306	6.64	0.0
J-80	J-81	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.827	5.40	0.0
J-81	J-82	Floculador	0.596	101.6	0.09	0.000298	1.555	6.62	19.4

J-82	J-83	Floculador	0.485	101.6	0.09	0	1.771	5.39	0.0
J-83	J-84	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.358	6.63	0.0
J-84	J-85	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.708	5.40	0.0
J-85	J-86	Floculador	0.596	101.6	0.09	0.000298	2.633	6.62	19.4
J-86	J-87	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.209	5.40	0.0
J-87	J-88	Floculador	0.598	101.6	0.09	0	1.667	6.64	0.0
J-88	J-89	Floculador	0.485	101.6	0.09	0	1.568	5.39	0.0
J-89	J-90	Floculador	0.598	101.6	0.09	0.000298	1.967	6.64	19.4
J-90	J-91	Floculador	0.485	101.6	0.09	0	2.448	5.39	0.0
J-91	J-92	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.753	6.63	0.0
J-92	J-93	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.565	5.40	0.0
J-93	J-94	Floculador	0.599	101.6	0.09	0.000298	1.983	6.66	19.4
J-94	J-95	Floculador	0.485	101.6	0.09	0	1.614	5.39	0.0
J-95	J-96	Floculador	0.269	101.6	0.09	0	1.554	2.99	0.0
J-96	J-97	Codo de 90°	0.934	101.6	0.09	0.000595	1.305	10.38	21.9
J-97	J-102	Empalme	0.88	101.6	0.09	0	2.184	9.78	0.0
J-102	J-103	Codo de 90°	0.57	101.6	0.09	0.000298	2.752	6.33	19.8
J-103	J-104	Tee flujo recto	0.179	101.6	0.09	0.000298	2.752	1.99	35.4
J-104	J-105	Válvula de compuerta	0.5	101.6	0.09	0.000298	2.752	5.56	21.2
J-105	J-106	Codo de 90°	0.5	101.6	0.09	0.000298	2.751	5.56	21.2
J-106	J-107	Tee cambio sentido de flujo	0.55	101.6	0.09	0.000595	2.751	6.11	28.5
J-107	J-108	Codo de 45°	4.502	101.6	0.09	0.000893	2.895	50.02	12.2
J-108	J-109	Codo de 90°	0.449	101.6	0.09	0.000298	2.894	4.99	22.4
J-109	J-110	Empalme	1	101.6	0.09	0.000298	1.896	11.11	15.0
J-110	J-113	Cruz cambio sentido de flujo	0.23	101.6	0.09	0.000298	1.666	2.56	31.2
J-113	J-114	Codo de 90°	0.301	101.6	0.09	0.000298	1.666	3.34	27.3
J-114	J-115	Empalme	0.28	101.6	0.09	0	1.945	3.11	0.0
J-115	J-116	Codo de 90°	0.3	101.6	0.09	0.000595	2.244	3.33	38.7
J-116	J-117	0	0.211	101.6	0.09	0.000298	2.244	2.34	32.6

- Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 0.75 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 82.3 metros.

Nodo Inicial	Nodo Final	Accesorio en el Nodo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas Totales Darcy - Weisbach (m)	Presión Nodo Final (m.c.a.)	Tiempo Teórico (s)	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
R-1	J-1	Codo de 90°	6.104	58	0.28	0.01518	0.159	21.80	76.3
J-1	J-2	Tee flujo recto	0.175	58	0.28	0.001488	0.172	0.63	141.2
J-2	J-3	Válvula de compuerta	0.299	58	0.28	0.002381	0.18	1.07	136.6
J-3	J-4	Empalme	6.125	58	0.28	0.012204	0.252	21.88	68.3
J-4	J-5	Codo de 90°	1.708	58	0.28	0.006548	0.256	6.10	94.8
J-5	J-6	Codo de 90°	1.474	58	0.28	0.005953	1.721	5.26	97.3
J-6	J-7	Tee cambio sentido de flujo	1.831	58	0.28	0.00893	1.722	6.54	106.9
J-7	J-8	Codo de 90°	0.815	58	0.28	0.004763	1.566	2.91	117.0
J-8	J-9	Cambio de diámetro	0.256	58	0.28	0.002679	1.588	0.91	156.6
J-9	J-10	Válvula de compuerta	0.32	101.6	0.09	0.000298	1.617	3.56	26.5
J-10	J-11	Codo de 90°	0.23	101.6	0.09	0.000298	1.639	2.56	31.2
J-11	J-12	Codo de 90°	0.465	101.6	0.09	0.000595	1.648	5.17	31.0
J-12	J-13	Empalme	1.946	101.6	0.09	0.000298	1.56	21.62	10.7
J-13	J-14	Floculador	0.5	101.6	0.09	0	1.56	5.56	0.0
J-14	J-15	Floculador	0.617	101.6	0.09	0	1.876	6.86	0.0
J-15	J-16	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	2.358	5.40	21.5
J-16	J-17	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.748	6.63	0.0
J-17	J-18	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.64	5.40	0.0
J-18	J-19	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.094	6.63	0.0
J-19	J-20	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	1.675	5.40	21.5
J-20	J-21	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.61	6.63	0.0

J-21	J-22	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.967	5.40	0.0
J-22	J-23	Floculador	0.596	101.6	0.09	0	2.551	6.62	0.0
J-23	J-24	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	2.758	5.40	21.5
J-24	J-25	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.474	6.63	0.0
J-25	J-27	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.994	5.40	0.0
J-27	J-28	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.579	6.63	0.0
J-28	J-29	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	1.657	5.40	21.5
J-29	J-30	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.188	6.63	0.0
J-30	J-31	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.621	5.40	0.0
J-31	J-32	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.721	6.63	0.0
J-32	J-33	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	2.384	5.40	21.5
J-33	J-34	Floculador	0.596	101.6	0.09	0	1.795	6.62	0.0
J-34	J-35	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.561	5.40	0.0
J-35	J-36	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.811	6.63	0.0
J-36	J-37	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	2.286	5.40	21.5
J-37	J-38	Floculador	0.596	101.6	0.09	0	2.727	6.62	0.0
J-38	J-39	Floculador	0.487	101.6	0.09	0	2.678	5.41	0.0
J-39	J-40	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.165	6.63	0.0
J-40	J-41	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	1.719	5.40	21.5
J-41	J-42	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.583	6.63	0.0
J-42	J-43	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.898	5.40	0.0
J-43	J-44	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.491	6.63	0.0
J-44	J-45	Floculador	0.486	101.6	0.09	0.000298	2.75	5.40	21.5
J-45	J-46	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.533	6.63	0.0
J-46	J-47	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.065	5.40	0.0
J-47	J-48	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.6	6.63	0.0
J-48	J-49	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.619	5.40	0.0
J-49	J-50	Floculador	0.598	101.6	0.09	0.000298	2.113	6.64	19.4
J-50	J-51	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.57	5.40	0.0

J-51	J-52	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.74	6.63	0.0
J-52	J-53	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.449	5.40	0.0
J-53	J-54	Floculador	0.597	101.6	0.09	0.000298	1.853	6.63	19.4
J-54	J-55	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.57	5.40	0.0
J-55	J-56	Floculador	0.595	101.6	0.09	0	1.752	6.61	0.0
J-56	J-57	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.212	5.40	0.0
J-57	J-58	Floculador	0.597	101.6	0.09	0.000298	2.699	6.63	19.4
J-58	J-59	Floculador	0.487	101.6	0.09	0	2.71	5.41	0.0
J-59	J-60	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.238	6.63	0.0
J-60	J-61	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.772	5.40	0.0
J-61	J-62	Floculador	0.598	101.6	0.09	0.000298	1.565	6.64	19.4
J-62	J-63	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.832	5.40	0.0
J-63	J-64	Floculador	0.596	101.6	0.09	0	2.426	6.62	0.0
J-64	J-65	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.734	5.40	0.0
J-65	J-66	Floculador	0.597	101.6	0.09	0.000298	2.586	6.63	19.4
J-66	J-67	Floculador	0.487	101.6	0.09	0	2.136	5.41	0.0
J-67	J-68	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.629	6.63	0.0
J-68	J-69	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.59	5.40	0.0
J-69	J-70	Floculador	0.597	101.6	0.09	0.000298	2.038	6.63	19.4
J-70	J-71	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.511	5.40	0.0
J-71	J-72	Floculador	0.596	101.6	0.09	0	2.751	6.62	0.0
J-72	J-73	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.51	5.40	0.0
J-73	J-74	Floculador	0.598	101.6	0.09	0.000298	1.917	6.64	19.4
J-74	J-75	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.588	5.40	0.0
J-75	J-76	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	1.701	6.63	0.0
J-76	J-77	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.139	5.40	0.0
J-77	J-78	Floculador	0.597	101.6	0.09	0.000298	2.663	6.63	19.4
J-78	J-79	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.732	5.40	0.0
J-79	J-80	Floculador	0.598	101.6	0.09	0	2.306	6.64	0.0

J-80	J-81	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	1.827	5.40	0.0
J-81	J-82	Floculador	0.596	101.6	0.09	0.000298	1.555	6.62	19.4
J-82	J-83	Floculador	0.485	101.6	0.09	0	1.771	5.39	0.0
J-83	J-84	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.358	6.63	0.0
J-84	J-85	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.708	5.40	0.0
J-85	J-86	Floculador	0.596	101.6	0.09	0.000298	2.633	6.62	19.4
J-86	J-87	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.209	5.40	0.0
J-87	J-88	Floculador	0.598	101.6	0.09	0	1.667	6.64	0.0
J-88	J-89	Floculador	0.485	101.6	0.09	0	1.568	5.39	0.0
J-89	J-90	Floculador	0.598	101.6	0.09	0.000298	1.967	6.64	19.4
J-90	J-91	Floculador	0.485	101.6	0.09	0	2.448	5.39	0.0
J-91	J-92	Floculador	0.597	101.6	0.09	0	2.753	6.63	0.0
J-92	J-93	Floculador	0.486	101.6	0.09	0	2.565	5.40	0.0
J-93	J-94	Floculador	0.599	101.6	0.09	0.000298	1.983	6.66	19.4
J-94	J-95	Floculador	0.485	101.6	0.09	0	1.614	5.39	0.0
J-95	J-96	Floculador	0.269	101.6	0.09	0	1.554	2.99	0.0
J-96	J-97	Codo de 90°	0.934	101.6	0.09	0.000595	1.305	10.38	21.9
J-97	J-98	Empalme	0.88	101.6	0.09	0	2.184	9.78	0.0
J-98	J-99	Codo de 90°	0.57	101.6	0.09	0.000298	2.752	6.33	19.8
J-99	J-100	Tee cambio sentido de flujo	0.175	101.6	0.09	0.000595	2.752	1.94	50.6
J-100	J-101	Empalme	0.4	101.6	0.09	0.000298	2.751	4.44	23.7
J-101	J-102	Floculador	0.5	101.6	0.09	0	2.751	5.56	0.0
J-102	J-104	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	2.608	5.48	0.0
J-104	J-105	Floculador	0.492	101.6	0.09	0	2.229	5.47	0.0
J-105	J-106	Floculador	0.61	101.6	0.09	0.000298	1.62	6.78	19.2
J-106	J-107	Floculador	0.494	101.6	0.09	0	1.223	5.49	0.0
J-107	J-108	Floculador	0.611	101.6	0.09	0	1.057	6.79	0.0
J-108	J-109	Floculador	0.494	101.6	0.09	0	1.243	5.49	0.0
J-109	J-110	Floculador	0.611	101.6	0.09	0.000298	1.77	6.79	19.2



J-110	J-111	Floculador	0.492	101.6	0.09	0	2.257	5.47	0.0
J-111	J-112	Floculador	0.611	101.6	0.09	0	2.682	6.79	0.0
J-112	J-113	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	2.736	5.48	0.0
J-113	J-114	Floculador	0.611	101.6	0.09	0.000298	2.417	6.79	19.2
J-114	J-115	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	1.956	5.48	0.0
J-115	J-116	Floculador	0.611	101.6	0.09	0	1.374	6.79	0.0
J-116	J-117	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	1.094	5.48	0.0
J-117	J-118	Floculador	0.611	101.6	0.09	0.000298	1.127	6.79	19.2
J-118	J-119	Floculador	0.492	101.6	0.09	0	1.45	5.47	0.0
J-119	J-120	Floculador	0.611	101.6	0.09	0	2.049	6.79	0.0
J-120	J-121	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	2.488	5.48	0.0
J-121	J-122	Floculador	0.612	101.6	0.09	0.000298	2.748	6.80	19.2
J-122	J-123	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	2.64	5.48	0.0
J-123	J-124	Floculador	0.61	101.6	0.09	0	2.17	6.78	0.0
J-124	J-125	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	1.678	5.48	0.0
J-125	J-126	Floculador	0.611	101.6	0.09	0.000298	1.186	6.79	19.2
J-126	J-127	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	1.052	5.48	0.0
J-127	J-128	Floculador	0.609	101.6	0.09	0	1.28	6.77	0.0
J-128	J-129	Floculador	0.494	101.6	0.09	0	1.707	5.49	0.0
J-129	J-130	Floculador	0.611	101.6	0.09	0.000298	2.31	6.79	19.2
J-130	J-131	Floculador	0.494	101.6	0.09	0	2.654	5.49	0.0
J-131	J-132	Floculador	0.611	101.6	0.09	0	2.721	6.79	0.0
J-132	J-133	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	2.464	5.48	0.0
J-133	J-134	Floculador	0.61	101.6	0.09	0.000298	1.893	6.78	19.2
J-134	J-135	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	1.423	5.48	0.0
J-135	J-136	Floculador	0.611	101.6	0.09	0	1.075	6.79	0.0
J-136	J-137	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	1.102	5.48	0.0
J-137	J-138	Floculador	0.611	101.6	0.09	0.000298	1.502	6.79	19.2
J-138	J-139	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	1.985	5.48	0.0

J-139	J-140	Floculador	0.611	101.6	0.09	0	2.529	6.79	0.0
J-140	J-141	Floculador	0.493	101.6	0.09	0	2.739	5.48	0.0
J-141	J-142	Floculador	0.398	101.6	0.09	0.000298	2.704	4.42	23.7
J-142	J-143	Floculador	0.611	101.6	0.09	0	2.316	6.79	0.0
J-143	J-144	Floculador	0.492	101.6	0.09	0	1.837	5.47	0.0
J-144	J-152	Floculador	0.518	101.6	0.09	0	1.358	5.76	0.0
J-152	J-153	Cruz flujo recto	0.18	101.6	0.09	0.000298	1.24	2.00	35.3
J-153	J-154	Válvula de compuerta	0.74	101.6	0.09	0.000298	1.932	8.22	17.4
J-154	J-155	Codo de 90°	0.872	101.6	0.09	0.000595	2.747	9.69	22.7
J-155	J-156	Tee cambio sentido de flujo	0.6	101.6	0.09	0.000595	2.747	6.67	27.3
J-156	J-157	Codo de 45°	4.502	101.6	0.09	0.000595	2.891	50.02	10.0
J-157	J-158	Codo de 90°	0.449	101.6	0.09	0.000595	2.89	4.99	31.6
J-158	J-159	Empalme	1	101.6	0.09	0	1.892	11.11	0.0
J-159	J-160	Codo de 90°	0.23	101.6	0.09	0.000298	1.662	2.56	31.2
J-160	J-161	Codo de 90°	0.301	101.6	0.09	0.000595	1.661	3.34	38.6
J-161	J-164	Empalme	0.28	101.6	0.09	0	1.941	3.11	0.0
J-164	J-165	Codo de 90°	0.3	101.6	0.09	0.000298	2.24	3.33	27.4
J-165	J-166	0	0.225	101.6	0.09	0.000595	2.24	2.50	44.6

- Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 1 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 57.2 metros.

Nodo Inicial	Nodo Final	Accesorio en el Nodo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas Totales Darcy - Weisbach (m)	Presión Nodo Final (m.c.a.)	Tiempo Teórico (s)	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
R-1	J-1	Codo de 90°	6.104	58	0.38	0.025301	0.149	16.06	114.8
J-1	J-2	Tee flujo recto	0.175	58	0.38	0.002977	0.16	0.46	232.6
J-2	J-3	Válvula de compuerta	0.299	58	0.38	0.00387	0.167	0.79	202.9
J-3	J-4	Empalme	6.125	58	0.38	0.020241	0.231	16.12	102.5
J-4	J-5	Codo de 90°	1.708	58	0.38	0.011311	0.23	4.49	145.1
J-5	J-6	Codo de 90°	1.474	58	0.38	0.010418	1.691	3.88	149.9
J-6	J-7	Tee cambio sentido de flujo	1.831	58	0.38	0.01518	1.685	4.82	162.4
J-7	J-8	Codo de 90°	0.815	58	0.38	0.008334	1.526	2.14	180.3
J-8	J-9	Cambio de diámetro	0.256	58	0.38	0.00506	1.545	0.67	250.7
J-9	J-10	Válvula de compuerta	0.32	101.6	0.12	0.000298	1.575	2.67	30.6
J-10	J-11	Codo de 90°	0.23	101.6	0.12	0.000595	1.596	1.92	51.0
J-11	J-12	Codo de 90°	0.465	101.6	0.12	0.000893	1.605	3.88	43.9
J-12	J-13	Empalme	1.946	101.6	0.12	0.000595	1.517	16.22	17.5
J-13	J-14	Floculador	0.5	101.6	0.12	0	1.517	4.17	0.0
J-14	J-15	Floculador	0.617	101.6	0.12	0	1.832	5.14	0.0
J-15	J-16	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.315	4.05	24.8
J-16	J-17	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.704	4.98	0.0
J-17	J-18	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.596	4.05	24.8
J-18	J-19	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.05	4.98	0.0
J-19	J-20	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.631	4.05	0.0
J-20	J-21	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	1.566	4.98	22.4
J-21	J-22	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.923	4.05	0.0
J-22	J-23	Floculador	0.596	101.6	0.12	0.000298	2.507	4.97	22.4

J-23	J-24	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.715	4.05	0.0
J-24	J-25	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.431	4.98	0.0
J-25	J-27	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.95	4.05	24.8
J-27	J-28	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	1.535	4.98	0.0
J-28	J-29	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.613	4.05	24.8
J-29	J-30	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.144	4.98	0.0
J-30	J-31	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.577	4.05	0.0
J-31	J-32	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	2.676	4.98	22.4
J-32	J-33	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.34	4.05	0.0
J-33	J-34	Floculador	0.596	101.6	0.12	0.000298	1.75	4.97	22.4
J-34	J-35	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.516	4.05	0.0
J-35	J-36	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	1.767	4.98	0.0
J-36	J-37	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.242	4.05	24.8
J-37	J-38	Floculador	0.596	101.6	0.12	0	2.683	4.97	0.0
J-38	J-39	Floculador	0.487	101.6	0.12	0.000298	2.634	4.06	24.8
J-39	J-40	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.121	4.98	0.0
J-40	J-41	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.675	4.05	0.0
J-41	J-42	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	1.539	4.98	22.4
J-42	J-43	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.853	4.05	0.0
J-43	J-44	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	2.447	4.98	22.4
J-44	J-45	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.706	4.05	0.0
J-45	J-46	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	2.488	4.98	22.4
J-46	J-47	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.02	4.05	0.0
J-47	J-48	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	1.555	4.98	0.0
J-48	J-49	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.574	4.05	24.8
J-49	J-50	Floculador	0.598	101.6	0.12	0	2.068	4.98	0.0
J-50	J-51	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.524	4.05	24.8
J-51	J-52	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.695	4.98	0.0
J-52	J-53	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.404	4.05	0.0

J-53	J-54	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	1.808	4.98	22.4
J-54	J-55	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.525	4.05	0.0
J-55	J-56	Floculador	0.595	101.6	0.12	0.000298	1.707	4.96	22.4
J-56	J-57	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.167	4.05	0.0
J-57	J-58	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.654	4.98	0.0
J-58	J-59	Floculador	0.487	101.6	0.12	0.000298	2.664	4.06	24.8
J-59	J-60	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.192	4.98	0.0
J-60	J-61	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.726	4.05	24.8
J-61	J-62	Floculador	0.598	101.6	0.12	0	1.519	4.98	0.0
J-62	J-63	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.787	4.05	0.0
J-63	J-64	Floculador	0.596	101.6	0.12	0.000298	2.38	4.97	22.4
J-64	J-65	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.688	4.05	0.0
J-65	J-66	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	2.541	4.98	22.4
J-66	J-67	Floculador	0.487	101.6	0.12	0	2.091	4.06	0.0
J-67	J-68	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	1.584	4.98	0.0
J-68	J-69	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.544	4.05	24.8
J-69	J-70	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	1.992	4.98	0.0
J-70	J-71	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.465	4.05	24.8
J-71	J-72	Floculador	0.596	101.6	0.12	0	2.705	4.97	0.0
J-72	J-73	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.464	4.05	0.0
J-73	J-74	Floculador	0.598	101.6	0.12	0.000298	1.871	4.98	22.4
J-74	J-75	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.542	4.05	0.0
J-75	J-76	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	1.654	4.98	22.4
J-76	J-77	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.092	4.05	0.0
J-77	J-78	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.617	4.98	0.0
J-78	J-79	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.686	4.05	24.8
J-79	J-80	Floculador	0.598	101.6	0.12	0	2.26	4.98	0.0
J-80	J-81	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.78	4.05	24.8
J-81	J-82	Floculador	0.596	101.6	0.12	0	1.509	4.97	0.0

J-82	J-83	Floculador	0.485	101.6	0.12	0	1.724	4.04	0.0
J-83	J-84	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	2.311	4.98	22.4
J-84	J-85	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.661	4.05	0.0
J-85	J-86	Floculador	0.596	101.6	0.12	0.000298	2.586	4.97	22.4
J-86	J-87	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.162	4.05	0.0
J-87	J-88	Floculador	0.598	101.6	0.12	0.000298	1.62	4.98	22.4
J-88	J-89	Floculador	0.485	101.6	0.12	0	1.521	4.04	0.0
J-89	J-90	Floculador	0.598	101.6	0.12	0	1.92	4.98	0.0
J-90	J-91	Floculador	0.485	101.6	0.12	0.000298	2.401	4.04	24.8
J-91	J-92	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.706	4.98	0.0
J-92	J-93	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.518	4.05	24.8
J-93	J-94	Floculador	0.599	101.6	0.12	0	1.937	4.99	0.0
J-94	J-95	Floculador	0.485	101.6	0.12	0	1.567	4.04	0.0
J-95	J-96	Floculador	0.269	101.6	0.12	0.000298	1.507	2.24	33.4
J-96	J-97	Codo de 90°	0.934	101.6	0.12	0.000595	1.258	7.78	25.3
J-97	J-102	Empalme	0.88	101.6	0.12	0.000298	2.136	7.33	18.4
J-102	J-103	Codo de 90°	0.57	101.6	0.12	0.000893	2.704	4.75	39.7
J-103	J-104	Tee flujo recto	0.179	101.6	0.12	0.000298	2.704	1.49	40.9
J-104	J-105	Válvula de compuerta	0.5	101.6	0.12	0.000298	2.704	4.17	24.5
J-105	J-106	Codo de 90°	0.5	101.6	0.12	0.000893	2.703	4.17	42.4
J-106	J-107	Tee cambio sentido de flujo	0.55	101.6	0.12	0.000893	2.702	4.58	40.4
J-107	J-108	Codo de 45°	4.502	101.6	0.12	0.001191	2.845	37.52	16.3
J-108	J-109	Codo de 90°	0.449	101.6	0.12	0.000893	2.844	3.74	44.7
J-109	J-110	Empalme	1	101.6	0.12	0.000298	1.846	8.33	17.3
J-110	J-113	Cruz cambio sentido de flujo	0.23	101.6	0.12	0.000595	1.616	1.92	51.0
J-113	J-114	Codo de 90°	0.301	101.6	0.12	0.000595	1.615	2.51	44.6
J-114	J-115	Empalme	0.28	101.6	0.12	0	1.895	2.33	0.0
J-115	J-116	Codo de 90°	0.3	101.6	0.12	0.000893	2.193	2.50	54.7
J-116	J-117	0	0.211	101.6	0.12	0.000893	2.192	1.76	65.2

- Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 1 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 82.3 metros.

Nodo Inicial	Nodo Final	Accesorio en el Nodo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas Totales Darcy - Weisbach (m)	Presión Nodo Final (m.c.a.)	Tiempo Teórico (s)	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
R-1	J-1	Codo de 90°	6.104	58	0.38	0.025301	0.149	16.06	114.8
J-1	J-2	Tee flujo recto	0.175	58	0.38	0.002977	0.16	0.46	232.6
J-2	J-3	Válvula de compuerta	0.299	58	0.38	0.00387	0.167	0.79	202.9
J-3	J-4	Empalme	6.125	58	0.38	0.020241	0.231	16.12	102.5
J-4	J-5	Codo de 90°	1.708	58	0.38	0.011311	0.23	4.49	145.1
J-5	J-6	Codo de 90°	1.474	58	0.38	0.010418	1.691	3.88	149.9
J-6	J-7	Tee cambio sentido de flujo	1.831	58	0.38	0.01518	1.685	4.82	162.4
J-7	J-8	Codo de 90°	0.815	58	0.38	0.008334	1.526	2.14	180.3
J-8	J-9	Cambio de diámetro	0.256	58	0.38	0.00506	1.545	0.67	250.7
J-9	J-10	Válvula de compuerta	0.32	101.6	0.12	0.000298	1.575	2.67	30.6
J-10	J-11	Codo de 90°	0.23	101.6	0.12	0.000595	1.596	1.92	51.0
J-11	J-12	Codo de 90°	0.465	101.6	0.12	0.000893	1.605	3.88	43.9
J-12	J-13	Empalme	1.946	101.6	0.12	0.000595	1.517	16.22	17.5
J-13	J-14	Floculador	0.5	101.6	0.12	0	1.517	4.17	0.0
J-14	J-15	Floculador	0.617	101.6	0.12	0	1.832	5.14	0.0
J-15	J-16	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.315	4.05	24.8
J-16	J-17	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.704	4.98	0.0
J-17	J-18	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.596	4.05	24.8
J-18	J-19	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.05	4.98	0.0
J-19	J-20	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.631	4.05	0.0
J-20	J-21	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	1.566	4.98	22.4

J-21	J-22	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.923	4.05	0.0
J-22	J-23	Floculador	0.596	101.6	0.12	0.000298	2.507	4.97	22.4
J-23	J-24	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.715	4.05	0.0
J-24	J-25	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.431	4.98	0.0
J-25	J-27	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.95	4.05	24.8
J-27	J-28	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	1.535	4.98	0.0
J-28	J-29	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.613	4.05	24.8
J-29	J-30	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.144	4.98	0.0
J-30	J-31	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.577	4.05	0.0
J-31	J-32	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	2.676	4.98	22.4
J-32	J-33	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.34	4.05	0.0
J-33	J-34	Floculador	0.596	101.6	0.12	0.000298	1.75	4.97	22.4
J-34	J-35	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.516	4.05	0.0
J-35	J-36	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	1.767	4.98	0.0
J-36	J-37	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.242	4.05	24.8
J-37	J-38	Floculador	0.596	101.6	0.12	0	2.683	4.97	0.0
J-38	J-39	Floculador	0.487	101.6	0.12	0.000298	2.634	4.06	24.8
J-39	J-40	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.121	4.98	0.0
J-40	J-41	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.675	4.05	0.0
J-41	J-42	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	1.539	4.98	22.4
J-42	J-43	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.853	4.05	0.0
J-43	J-44	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	2.447	4.98	22.4
J-44	J-45	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.706	4.05	0.0
J-45	J-46	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	2.488	4.98	22.4
J-46	J-47	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.02	4.05	0.0
J-47	J-48	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	1.555	4.98	0.0
J-48	J-49	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.574	4.05	24.8
J-49	J-50	Floculador	0.598	101.6	0.12	0	2.068	4.98	0.0
J-50	J-51	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.524	4.05	24.8



J-51	J-52	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.695	4.98	0.0
J-52	J-53	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.404	4.05	0.0
J-53	J-54	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	1.808	4.98	22.4
J-54	J-55	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.525	4.05	0.0
J-55	J-56	Floculador	0.595	101.6	0.12	0.000298	1.707	4.96	22.4
J-56	J-57	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.167	4.05	0.0
J-57	J-58	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.654	4.98	0.0
J-58	J-59	Floculador	0.487	101.6	0.12	0.000298	2.664	4.06	24.8
J-59	J-60	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.192	4.98	0.0
J-60	J-61	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.726	4.05	24.8
J-61	J-62	Floculador	0.598	101.6	0.12	0	1.519	4.98	0.0
J-62	J-63	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.787	4.05	0.0
J-63	J-64	Floculador	0.596	101.6	0.12	0.000298	2.38	4.97	22.4
J-64	J-65	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.688	4.05	0.0
J-65	J-66	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	2.541	4.98	22.4
J-66	J-67	Floculador	0.487	101.6	0.12	0	2.091	4.06	0.0
J-67	J-68	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	1.584	4.98	0.0
J-68	J-69	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.544	4.05	24.8
J-69	J-70	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	1.992	4.98	0.0
J-70	J-71	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.465	4.05	24.8
J-71	J-72	Floculador	0.596	101.6	0.12	0	2.705	4.97	0.0
J-72	J-73	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.464	4.05	0.0
J-73	J-74	Floculador	0.598	101.6	0.12	0.000298	1.871	4.98	22.4
J-74	J-75	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	1.542	4.05	0.0
J-75	J-76	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	1.654	4.98	22.4
J-76	J-77	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.092	4.05	0.0
J-77	J-78	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.617	4.98	0.0
J-78	J-79	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.686	4.05	24.8
J-79	J-80	Floculador	0.598	101.6	0.12	0	2.26	4.98	0.0

J-80	J-81	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	1.78	4.05	24.8
J-81	J-82	Floculador	0.596	101.6	0.12	0	1.509	4.97	0.0
J-82	J-83	Floculador	0.485	101.6	0.12	0	1.724	4.04	0.0
J-83	J-84	Floculador	0.597	101.6	0.12	0.000298	2.311	4.98	22.4
J-84	J-85	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.661	4.05	0.0
J-85	J-86	Floculador	0.596	101.6	0.12	0.000298	2.586	4.97	22.4
J-86	J-87	Floculador	0.486	101.6	0.12	0	2.162	4.05	0.0
J-87	J-88	Floculador	0.598	101.6	0.12	0.000298	1.62	4.98	22.4
J-88	J-89	Floculador	0.485	101.6	0.12	0	1.521	4.04	0.0
J-89	J-90	Floculador	0.598	101.6	0.12	0	1.92	4.98	0.0
J-90	J-91	Floculador	0.485	101.6	0.12	0.000298	2.401	4.04	24.8
J-91	J-92	Floculador	0.597	101.6	0.12	0	2.706	4.98	0.0
J-92	J-93	Floculador	0.486	101.6	0.12	0.000298	2.518	4.05	24.8
J-93	J-94	Floculador	0.599	101.6	0.12	0	1.937	4.99	0.0
J-94	J-95	Floculador	0.485	101.6	0.12	0	1.567	4.04	0.0
J-95	J-96	Floculador	0.269	101.6	0.12	0.000298	1.507	2.24	33.4
J-96	J-97	Codo de 90°	0.934	101.6	0.12	0.000595	1.258	7.78	25.3
J-97	J-98	Empalme	0.88	101.6	0.12	0.000298	2.136	7.33	18.4
J-98	J-99	Codo de 90°	0.57	101.6	0.12	0.000893	2.704	4.75	39.7
J-99	J-100	Tee cambio sentido de flujo	0.175	101.6	0.12	0.000893	2.703	1.46	71.6
J-100	J-101	Empalme	0.4	101.6	0.12	0.000298	2.703	3.33	27.4
J-101	J-102	Floculador	0.5	101.6	0.12	0	2.703	4.17	0.0
J-102	J-104	Floculador	0.493	101.6	0.12	0	2.56	4.11	0.0
J-104	J-105	Floculador	0.492	101.6	0.12	0.000298	2.18	4.10	24.7
J-105	J-106	Floculador	0.61	101.6	0.12	0	1.572	5.08	0.0
J-106	J-107	Floculador	0.494	101.6	0.12	0.000298	1.174	4.12	24.6
J-107	J-108	Floculador	0.611	101.6	0.12	0	1.009	5.09	0.0
J-108	J-109	Floculador	0.494	101.6	0.12	0	1.194	4.12	0.0
J-109	J-110	Floculador	0.611	101.6	0.12	0.000298	1.722	5.09	22.1

J-110	J-111	Floculador	0.492	101.6	0.12	0	2.208	4.10	0.0
J-111	J-112	Floculador	0.611	101.6	0.12	0.000298	2.633	5.09	22.1
J-112	J-113	Floculador	0.493	101.6	0.12	0	2.687	4.11	0.0
J-113	J-114	Floculador	0.611	101.6	0.12	0.000298	2.368	5.09	22.1
J-114	J-115	Floculador	0.493	101.6	0.12	0	1.907	4.11	0.0
J-115	J-116	Floculador	0.611	101.6	0.12	0	1.325	5.09	0.0
J-116	J-117	Floculador	0.493	101.6	0.12	0.000298	1.044	4.11	24.6
J-117	J-118	Floculador	0.611	101.6	0.12	0	1.078	5.09	0.0
J-118	J-119	Floculador	0.492	101.6	0.12	0.000298	1.4	4.10	24.7
J-119	J-120	Floculador	0.611	101.6	0.12	0	1.999	5.09	0.0
J-120	J-121	Floculador	0.493	101.6	0.12	0	2.438	4.11	0.0
J-121	J-122	Floculador	0.612	101.6	0.12	0.000298	2.698	5.10	22.1
J-122	J-123	Floculador	0.493	101.6	0.12	0	2.591	4.11	0.0
J-123	J-124	Floculador	0.61	101.6	0.12	0.000298	2.12	5.08	22.2
J-124	J-125	Floculador	0.493	101.6	0.12	0	1.628	4.11	0.0
J-125	J-126	Floculador	0.611	101.6	0.12	0.000298	1.137	5.09	22.1
J-126	J-127	Floculador	0.493	101.6	0.12	0	1.002	4.11	0.0
J-127	J-128	Floculador	0.609	101.6	0.12	0	1.231	5.08	0.0
J-128	J-129	Floculador	0.494	101.6	0.12	0.000298	1.657	4.12	24.6
J-129	J-130	Floculador	0.611	101.6	0.12	0	2.26	5.09	0.0
J-130	J-131	Floculador	0.494	101.6	0.12	0.000298	2.604	4.12	24.6
J-131	J-132	Floculador	0.611	101.6	0.12	0	2.671	5.09	0.0
J-132	J-133	Floculador	0.493	101.6	0.12	0	2.414	4.11	0.0
J-133	J-134	Floculador	0.61	101.6	0.12	0.000298	1.844	5.08	22.2
J-134	J-135	Floculador	0.493	101.6	0.12	0	1.374	4.11	0.0
J-135	J-136	Floculador	0.611	101.6	0.12	0.000298	1.025	5.09	22.1
J-136	J-137	Floculador	0.493	101.6	0.12	0	1.052	4.11	0.0
J-137	J-138	Floculador	0.611	101.6	0.12	0	1.452	5.09	0.0
J-138	J-139	Floculador	0.493	101.6	0.12	0.000298	1.935	4.11	24.6

J-139	J-140	Floculador	0.611	101.6	0.12	0	2.479	5.09	0.0
J-140	J-141	Floculador	0.493	101.6	0.12	0.000298	2.689	4.11	24.6
J-141	J-142	Floculador	0.398	101.6	0.12	0	2.654	3.32	0.0
J-142	J-143	Floculador	0.611	101.6	0.12	0	2.266	5.09	0.0
J-143	J-144	Floculador	0.492	101.6	0.12	0.000298	1.786	4.10	24.7
J-144	J-152	Floculador	0.518	101.6	0.12	0	1.308	4.32	0.0
J-152	J-153	Cruz flujo recto	0.18	101.6	0.12	0.000595	1.189	1.50	57.6
J-153	J-154	Válvula de compuerta	0.74	101.6	0.12	0.000298	1.882	6.17	20.1
J-154	J-155	Codo de 90°	0.872	101.6	0.12	0.000893	2.696	7.27	32.1
J-155	J-156	Tee cambio sentido de flujo	0.6	101.6	0.12	0.001191	2.695	5.00	44.7
J-156	J-157	Codo de 45°	4.502	101.6	0.12	0.001191	2.838	37.52	16.3
J-157	J-158	Codo de 90°	0.449	101.6	0.12	0.000595	2.838	3.74	36.5
J-158	J-159	Empalme	1	101.6	0.12	0.000298	1.839	8.33	17.3
J-159	J-160	Codo de 90°	0.23	101.6	0.12	0.000595	1.609	1.92	51.0
J-160	J-161	Codo de 90°	0.301	101.6	0.12	0.000893	1.608	2.51	54.6
J-161	J-164	Empalme	0.28	101.6	0.12	0	1.888	2.33	0.0
J-164	J-165	Codo de 90°	0.3	101.6	0.12	0.000595	2.187	2.50	44.6
J-165	J-166	0	0.225	101.6	0.12	0.000893	2.186	1.88	63.1

- Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 2 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 57.2 metros.

Nodo Inicial	Nodo Final	Accesorio en el Nodo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas Totales Darcy - Weisbach (m)	Presión Nodo Final (m.c.a.)	Tiempo Teórico (s)	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
R-1	J-1	Codo de 90°	6.104	58	0.76	0.089297	0.085	8.03	305.1
J-1	J-2	Tee flujo recto	0.175	58	0.76	0.012204	0.087	0.23	666.1
J-2	J-3	Válvula de compuerta	0.299	58	0.76	0.014585	0.083	0.39	557.1
J-3	J-4	Empalme	6.125	58	0.76	0.068759	0.099	8.06	267.2
J-4	J-5	Codo de 90°	1.708	58	0.76	0.041672	0.067	2.25	394.0
J-5	J-6	Codo de 90°	1.474	58	0.76	0.039291	1.499	1.94	411.8
J-6	J-7	Tee cambio sentido de flujo	1.831	58	0.76	0.05715	1.452	2.41	445.6
J-7	J-8	Codo de 90°	0.815	58	0.76	0.032147	1.269	1.07	500.9
J-8	J-9	Cambio de diámetro	0.256	58	0.76	0.019645	1.274	0.34	698.7
J-9	J-10	Válvula de compuerta	0.32	101.6	0.25	0.001488	1.302	1.28	98.6
J-10	J-11	Codo de 90°	0.23	101.6	0.25	0.002381	1.322	0.92	147.2
J-11	J-12	Codo de 90°	0.465	101.6	0.25	0.002977	1.329	1.86	115.7
J-12	J-13	Empalme	1.946	101.6	0.25	0.001786	1.239	7.78	43.8
J-13	J-14	Floculador	0.5	101.6	0.25	0.000298	1.239	2.00	35.3
J-14	J-15	Floculador	0.617	101.6	0.25	0.000298	1.554	2.47	31.8
J-15	J-16	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	2.036	1.94	50.6
J-16	J-17	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.425	2.39	32.3
J-17	J-18	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.317	1.94	35.8
J-18	J-19	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.771	2.39	45.7
J-19	J-20	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.351	1.94	35.8
J-20	J-21	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.286	2.39	45.7
J-21	J-22	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.643	1.94	35.8
J-22	J-23	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000298	2.226	2.38	32.3

J-23	J-24	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	2.433	1.94	50.6
J-24	J-25	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.15	2.39	32.3
J-25	J-27	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.669	1.94	35.8
J-27	J-28	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.253	2.39	45.7
J-28	J-29	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.331	1.94	35.8
J-29	J-30	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	1.862	2.39	32.3
J-30	J-31	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	2.294	1.94	50.6
J-31	J-32	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.394	2.39	32.3
J-32	J-33	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.057	1.94	35.8
J-33	J-34	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000595	1.467	2.38	45.7
J-34	J-35	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.233	1.94	35.8
J-35	J-36	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.483	2.39	45.7
J-36	J-37	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.958	1.94	35.8
J-37	J-38	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000298	2.398	2.38	32.3
J-38	J-39	Floculador	0.487	101.6	0.25	0.000595	2.349	1.95	50.6
J-39	J-40	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	1.836	2.39	32.3
J-40	J-41	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.389	1.94	35.8
J-41	J-42	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.253	2.39	45.7
J-42	J-43	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.567	1.94	35.8
J-43	J-44	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.16	2.39	32.3
J-44	J-45	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	2.419	1.94	50.6
J-45	J-46	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.201	2.39	32.3
J-46	J-47	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.733	1.94	35.8
J-47	J-48	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.268	2.39	45.7
J-48	J-49	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.286	1.94	35.8
J-49	J-50	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000595	1.78	2.39	45.6
J-50	J-51	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.236	1.94	35.8
J-51	J-52	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.407	2.39	32.3
J-52	J-53	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	2.115	1.94	50.6

J-53	J-54	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	1.519	2.39	32.3
J-54	J-55	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.236	1.94	35.8
J-55	J-56	Floculador	0.595	101.6	0.25	0.000595	1.417	2.38	45.7
J-56	J-57	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.877	1.94	35.8
J-57	J-58	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.363	2.39	32.3
J-58	J-59	Floculador	0.487	101.6	0.25	0.000595	2.374	1.95	50.6
J-59	J-60	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	1.901	2.39	32.3
J-60	J-61	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.435	1.94	35.8
J-61	J-62	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000595	1.228	2.39	45.6
J-62	J-63	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.495	1.94	35.8
J-63	J-64	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000595	2.088	2.38	45.7
J-64	J-65	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.395	1.94	35.8
J-65	J-66	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.248	2.39	32.3
J-66	J-67	Floculador	0.487	101.6	0.25	0.000595	1.798	1.95	50.6
J-67	J-68	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	1.29	2.39	32.3
J-68	J-69	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.25	1.94	35.8
J-69	J-70	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.699	2.39	45.7
J-70	J-71	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.171	1.94	35.8
J-71	J-72	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000595	2.41	2.38	45.7
J-72	J-73	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.169	1.94	35.8
J-73	J-74	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000298	1.576	2.39	32.3
J-74	J-75	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.247	1.94	35.8
J-75	J-76	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.359	2.39	45.7
J-76	J-77	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.797	1.94	35.8
J-77	J-78	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	2.321	2.39	45.7
J-78	J-79	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.39	1.94	35.8
J-79	J-80	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000298	1.963	2.39	32.3
J-80	J-81	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	1.484	1.94	50.6
J-81	J-82	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000298	1.212	2.38	32.3

J-82	J-83	Floculador	0.485	101.6	0.25	0.000298	1.427	1.94	35.9
J-83	J-84	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	2.013	2.39	45.7
J-84	J-85	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.363	1.94	35.8
J-85	J-86	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000595	2.288	2.38	45.7
J-86	J-87	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.863	1.94	35.8
J-87	J-88	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000298	1.321	2.39	32.3
J-88	J-89	Floculador	0.485	101.6	0.25	0.000298	1.222	1.94	35.9
J-89	J-90	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000595	1.621	2.39	45.6
J-90	J-91	Floculador	0.485	101.6	0.25	0.000298	2.102	1.94	35.9
J-91	J-92	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	2.406	2.39	45.7
J-92	J-93	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.218	1.94	35.8
J-93	J-94	Floculador	0.599	101.6	0.25	0.000298	1.636	2.40	32.3
J-94	J-95	Floculador	0.485	101.6	0.25	0.000595	1.266	1.94	50.7
J-95	J-96	Floculador	0.269	101.6	0.25	0.000595	1.207	1.08	68.0
J-96	J-97	Codo de 90°	0.934	101.6	0.25	0.003274	0.955	3.74	85.6
J-97	J-102	Empalme	0.88	101.6	0.25	0.000893	1.832	3.52	46.1
J-102	J-103	Codo de 90°	0.57	101.6	0.25	0.002977	2.398	2.28	104.5
J-103	J-104	Tee flujo recto	0.179	101.6	0.25	0.001191	2.397	0.72	118.0
J-104	J-105	Válvula de compuerta	0.5	101.6	0.25	0.001488	2.395	2.00	78.9
J-105	J-106	Codo de 90°	0.5	101.6	0.25	0.002977	2.392	2.00	111.6
J-106	J-107	Tee cambio sentido de flujo	0.55	101.6	0.25	0.004167	2.388	2.20	125.9
J-107	J-108	Codo de 45°	4.502	101.6	0.25	0.004167	2.529	18.01	44.0
J-108	J-109	Codo de 90°	0.449	101.6	0.25	0.002679	2.526	1.80	111.7
J-109	J-110	Empalme	1	101.6	0.25	0.001191	1.527	4.00	49.9
J-110	J-113	Cruz cambio sentido de flujo	0.23	101.6	0.25	0.002381	1.295	0.92	147.2
J-113	J-114	Codo de 90°	0.301	101.6	0.25	0.002679	1.292	1.20	136.5
J-114	J-115	Empalme	0.28	101.6	0.25	0.000595	1.571	1.12	66.7
J-115	J-116	Codo de 90°	0.3	101.6	0.25	0.002679	1.868	1.20	136.7
J-116	J-117	0	0.211	101.6	0.25	0.003274	1.865	0.84	180.2



- Resultados WaterCAD para ensayos con caudal de 2 l/s en floculador tubular helicoidal de longitud 82.3 metros.

Nodo Inicial	Nodo Final	Accesorio en el Nodo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas Totales Darcy - Weisbach (m)	Presión Nodo Final (m.c.a.)	Tiempo Teórico (s)	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
R-1	J-1	Codo de 90°	6.104	58	0.76	0.089297	0.085	8.03	305.1
J-1	J-2	Tee flujo recto	0.175	58	0.76	0.012204	0.087	0.23	666.1
J-2	J-3	Válvula de compuerta	0.299	58	0.76	0.014585	0.083	0.39	557.1
J-3	J-4	Empalme	6.125	58	0.76	0.068759	0.099	8.06	267.2
J-4	J-5	Codo de 90°	1.708	58	0.76	0.041672	0.067	2.25	394.0
J-5	J-6	Codo de 90°	1.474	58	0.76	0.039291	1.499	1.94	411.8
J-6	J-7	Tee cambio sentido de flujo	1.831	58	0.76	0.05715	1.452	2.41	445.6
J-7	J-8	Codo de 90°	0.815	58	0.76	0.032147	1.269	1.07	500.9
J-8	J-9	Cambio de diámetro	0.256	58	0.76	0.019645	1.274	0.34	698.7
J-9	J-10	Válvula de compuerta	0.32	101.6	0.25	0.001488	1.302	1.28	98.6
J-10	J-11	Codo de 90°	0.23	101.6	0.25	0.002381	1.322	0.92	147.2
J-11	J-12	Codo de 90°	0.465	101.6	0.25	0.002977	1.329	1.86	115.7
J-12	J-13	Empalme	1.946	101.6	0.25	0.001786	1.239	7.78	43.8
J-13	J-14	Floculador	0.5	101.6	0.25	0.000298	1.239	2.00	35.3
J-14	J-15	Floculador	0.617	101.6	0.25	0.000298	1.554	2.47	31.8
J-15	J-16	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	2.036	1.94	50.6
J-16	J-17	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.425	2.39	32.3
J-17	J-18	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.317	1.94	35.8
J-18	J-19	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.771	2.39	45.7
J-19	J-20	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.351	1.94	35.8
J-20	J-21	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.286	2.39	45.7

J-21	J-22	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.643	1.94	35.8
J-22	J-23	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000298	2.226	2.38	32.3
J-23	J-24	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	2.433	1.94	50.6
J-24	J-25	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.15	2.39	32.3
J-25	J-27	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.669	1.94	35.8
J-27	J-28	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.253	2.39	45.7
J-28	J-29	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.331	1.94	35.8
J-29	J-30	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	1.862	2.39	32.3
J-30	J-31	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	2.294	1.94	50.6
J-31	J-32	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.394	2.39	32.3
J-32	J-33	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.057	1.94	35.8
J-33	J-34	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000595	1.467	2.38	45.7
J-34	J-35	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.233	1.94	35.8
J-35	J-36	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.483	2.39	45.7
J-36	J-37	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.958	1.94	35.8
J-37	J-38	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000298	2.398	2.38	32.3
J-38	J-39	Floculador	0.487	101.6	0.25	0.000595	2.349	1.95	50.6
J-39	J-40	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	1.836	2.39	32.3
J-40	J-41	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.389	1.94	35.8
J-41	J-42	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.253	2.39	45.7
J-42	J-43	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.567	1.94	35.8
J-43	J-44	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.16	2.39	32.3
J-44	J-45	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	2.419	1.94	50.6
J-45	J-46	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.201	2.39	32.3
J-46	J-47	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.733	1.94	35.8
J-47	J-48	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.268	2.39	45.7
J-48	J-49	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.286	1.94	35.8
J-49	J-50	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000595	1.78	2.39	45.6
J-50	J-51	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.236	1.94	35.8

J-51	J-52	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.407	2.39	32.3
J-52	J-53	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	2.115	1.94	50.6
J-53	J-54	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	1.519	2.39	32.3
J-54	J-55	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.236	1.94	35.8
J-55	J-56	Floculador	0.595	101.6	0.25	0.000595	1.417	2.38	45.7
J-56	J-57	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.877	1.94	35.8
J-57	J-58	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.363	2.39	32.3
J-58	J-59	Floculador	0.487	101.6	0.25	0.000595	2.374	1.95	50.6
J-59	J-60	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	1.901	2.39	32.3
J-60	J-61	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.435	1.94	35.8
J-61	J-62	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000595	1.228	2.39	45.6
J-62	J-63	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.495	1.94	35.8
J-63	J-64	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000595	2.088	2.38	45.7
J-64	J-65	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.395	1.94	35.8
J-65	J-66	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	2.248	2.39	32.3
J-66	J-67	Floculador	0.487	101.6	0.25	0.000595	1.798	1.95	50.6
J-67	J-68	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000298	1.29	2.39	32.3
J-68	J-69	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.25	1.94	35.8
J-69	J-70	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.699	2.39	45.7
J-70	J-71	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.171	1.94	35.8
J-71	J-72	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000595	2.41	2.38	45.7
J-72	J-73	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.169	1.94	35.8
J-73	J-74	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000298	1.576	2.39	32.3
J-74	J-75	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.247	1.94	35.8
J-75	J-76	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	1.359	2.39	45.7
J-76	J-77	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.797	1.94	35.8
J-77	J-78	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	2.321	2.39	45.7
J-78	J-79	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.39	1.94	35.8
J-79	J-80	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000298	1.963	2.39	32.3

J-80	J-81	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000595	1.484	1.94	50.6
J-81	J-82	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000298	1.212	2.38	32.3
J-82	J-83	Floculador	0.485	101.6	0.25	0.000298	1.427	1.94	35.9
J-83	J-84	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	2.013	2.39	45.7
J-84	J-85	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.363	1.94	35.8
J-85	J-86	Floculador	0.596	101.6	0.25	0.000595	2.288	2.38	45.7
J-86	J-87	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	1.863	1.94	35.8
J-87	J-88	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000298	1.321	2.39	32.3
J-88	J-89	Floculador	0.485	101.6	0.25	0.000298	1.222	1.94	35.9
J-89	J-90	Floculador	0.598	101.6	0.25	0.000595	1.621	2.39	45.6
J-90	J-91	Floculador	0.485	101.6	0.25	0.000298	2.102	1.94	35.9
J-91	J-92	Floculador	0.597	101.6	0.25	0.000595	2.406	2.39	45.7
J-92	J-93	Floculador	0.486	101.6	0.25	0.000298	2.218	1.94	35.8
J-93	J-94	Floculador	0.599	101.6	0.25	0.000298	1.636	2.40	32.3
J-94	J-95	Floculador	0.485	101.6	0.25	0.000595	1.266	1.94	50.7
J-95	J-96	Floculador	0.269	101.6	0.25	0.000595	1.207	1.08	68.0
J-96	J-97	Codo de 90°	0.934	101.6	0.25	0.003274	0.955	3.74	85.6
J-97	J-98	Empalme	0.88	101.6	0.25	0.000893	1.832	3.52	46.1
J-98	J-99	Codo de 90°	0.57	101.6	0.25	0.002977	2.398	2.28	104.5
J-99	J-100	Tee cambio sentido de flujo	0.175	101.6	0.25	0.004167	2.394	0.70	223.2
J-100	J-101	Empalme	0.4	101.6	0.25	0.000298	2.394	1.60	39.5
J-101	J-102	Floculador	0.5	101.6	0.25	0.000595	2.393	2.00	49.9
J-102	J-104	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000298	2.25	1.97	35.6
J-104	J-105	Floculador	0.492	101.6	0.25	0.000298	1.87	1.97	35.6
J-105	J-106	Floculador	0.61	101.6	0.25	0.000595	1.261	2.44	45.2
J-106	J-107	Floculador	0.494	101.6	0.25	0.000298	0.864	1.98	35.5
J-107	J-108	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000298	0.697	2.44	31.9
J-108	J-109	Floculador	0.494	101.6	0.25	0.000595	0.883	1.98	50.2
J-109	J-110	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000298	1.41	2.44	31.9

J-110	J-111	Floculador	0.492	101.6	0.25	0.000298	1.896	1.97	35.6
J-111	J-112	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000595	2.321	2.44	45.1
J-112	J-113	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000298	2.375	1.97	35.6
J-113	J-114	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000595	2.055	2.44	45.1
J-114	J-115	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000298	1.594	1.97	35.6
J-115	J-116	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000595	1.011	2.44	45.1
J-116	J-117	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000298	0.731	1.97	35.6
J-117	J-118	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000298	0.764	2.44	31.9
J-118	J-119	Floculador	0.492	101.6	0.25	0.000595	1.086	1.97	50.3
J-119	J-120	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000298	1.685	2.44	31.9
J-120	J-121	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000298	2.123	1.97	35.6
J-121	J-122	Floculador	0.612	101.6	0.25	0.000595	2.383	2.45	45.1
J-122	J-123	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000298	2.275	1.97	35.6
J-123	J-124	Floculador	0.61	101.6	0.25	0.000595	1.805	2.44	45.2
J-124	J-125	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000298	1.312	1.97	35.6
J-125	J-126	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000298	0.821	2.44	31.9
J-126	J-127	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000595	0.686	1.97	50.3
J-127	J-128	Floculador	0.609	101.6	0.25	0.000298	0.914	2.44	32.0
J-128	J-129	Floculador	0.494	101.6	0.25	0.000298	1.34	1.98	35.5
J-129	J-130	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000595	1.943	2.44	45.1
J-130	J-131	Floculador	0.494	101.6	0.25	0.000298	2.287	1.98	35.5
J-131	J-132	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000595	2.353	2.44	45.1
J-132	J-133	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000298	2.095	1.97	35.6
J-133	J-134	Floculador	0.61	101.6	0.25	0.000298	1.525	2.44	32.0
J-134	J-135	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000595	1.055	1.97	50.3
J-135	J-136	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000298	0.706	2.44	31.9
J-136	J-137	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000298	0.733	1.97	35.6
J-137	J-138	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000595	1.132	2.44	45.1
J-138	J-139	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000298	1.615	1.97	35.6

J-139	J-140	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000595	2.158	2.44	45.1
J-140	J-141	Floculador	0.493	101.6	0.25	0.000298	2.368	1.97	35.6
J-141	J-142	Floculador	0.398	101.6	0.25	0.000298	2.333	1.59	39.6
J-142	J-143	Floculador	0.611	101.6	0.25	0.000595	1.945	2.44	45.1
J-143	J-144	Floculador	0.492	101.6	0.25	0.000298	1.465	1.97	35.6
J-144	J-152	Floculador	0.518	101.6	0.25	0.000298	0.986	2.07	34.7
J-152	J-153	Cruz flujo recto	0.18	101.6	0.25	0.001786	0.866	0.72	144.1
J-153	J-154	Válvula de compuerta	0.74	101.6	0.25	0.001786	1.557	2.96	71.1
J-154	J-155	Codo de 90°	0.872	101.6	0.25	0.002977	2.37	3.49	84.5
J-155	J-156	Tee cambio sentido de flujo	0.6	101.6	0.25	0.004465	2.365	2.40	124.8
J-156	J-157	Codo de 45°	4.502	101.6	0.25	0.00387	2.506	18.01	42.4
J-157	J-158	Codo de 90°	0.449	101.6	0.25	0.002977	2.503	1.80	117.8
J-158	J-159	Empalme	1	101.6	0.25	0.000893	1.504	4.00	43.2
J-159	J-160	Codo de 90°	0.23	101.6	0.25	0.002679	1.272	0.92	156.1
J-160	J-161	Codo de 90°	0.301	101.6	0.25	0.002679	1.269	1.20	136.5
J-161	J-164	Empalme	0.28	101.6	0.25	0.000595	1.548	1.12	66.7
J-164	J-165	Codo de 90°	0.3	101.6	0.25	0.002679	1.845	1.20	136.7
J-165	J-166	0	0.225	101.6	0.25	0.003274	1.841	0.90	174.5

## ANEXO B. Cálculos de los parámetros de floculación para el modelo sugerido.

- Cálculo del nuevo diámetro de tubería para corregir problemas de velocidad.

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (l/s)	0.5
Velocidad mínima (m/s)	11

$$A = \frac{Q}{V}$$
$$Q = 0.5 \frac{l}{s} = 0.0005 \frac{m^3}{s}$$
$$A = \frac{0.0005}{11} = 0.00045 m^2$$
$$A = \pi * \frac{\phi^2}{4}$$
$$0.00045 = \pi * \frac{\phi^2}{4}$$
$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$
$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 0.00045}{\pi}} = 0.024m = 24 mm$$

- Cálculo de la nueva longitud de tubería para corregir problemas de tiempo de retención.

Matemáticamente se requiere una tubería de 24 mm sin embargo en mercado la tubería más cercana al necesario es de 1", pero el diámetro interno restando el espesor se obtiene 17.2 mm como diámetro nominal lo cual es insuficiente, por lo tanto, se recomienda una tubería de 2", con este diámetro se debe calcular la velocidad real del agua que circula por la tubería.

$$V = \frac{Q}{A}$$
$$V = \frac{0.0005 m^3 * 4}{s * \pi * 0.0508^2 m^2}$$
$$V = 0.247 m/s$$

Con esta velocidad real se obtiene la longitud requerida de la nueva tubería.

$$d = V * t$$

Jorge Arboleda recomienda 10 min mínimos como retención, sin embargo, se utilizan 11 minutos para no trabajar en el límite.

$$d = 0.247 \frac{m}{s} * 11 \text{ min} * 60 \text{ s}$$

$$d = 163 \text{ m}$$

Para el caudal de 0.25 l/s se utiliza la misma tubería tanto en diámetro y longitud que se calculó para 0.5 l/s y como consecuencia únicamente se duplica el tiempo de retención y se divide la velocidad, pero de igual manera se cumplen los parámetros de floculación de Jorge Arboleda, obteniendo entonces los siguientes cambios a sugerir en el modelo.

Caudal (l/s)	Diámetro Interno (mm)	Velocidad (m/s)	Longitud espiral (Modelo Sugerido) (m)	Tiempo Teórico (min)
0.25	50.8	0.123	163	22.2
0.5	50.8	0.247	163	11.1

Para poder corregir el tiempo de retención en el caudal de 2 l/s, se siguió el mismo modo de diseño del caudal de 0.5 l/s, donde de igual manera para no trabajar al límite se utiliza el tiempo de retención de 11 minutos.

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (l/s)	2
Velocidad (m/s)	0.25

$$d = 0.247 \frac{m}{s} * 11 \text{ min} * 60 \text{ s}$$

$$d = 163 \text{ m}$$

Al alargar la tubería debemos también realizar la salida hacia el sedimentador, por lo cual tomando en cuenta esta variable la longitud final es de 168.3 m. Si bien es cierto el caudal de 1 l/s cumple con los parámetros de floculación este caudal también puede sujetarse a los cambios sugeridos para caudal de 2 l/s , quedando el modelo sugerido de la siguiente manera.

Caudal (l/s)	Diámetro Interno (mm)	Velocidad (m/s)	Longitud espiral (Modelo Sugerido) (m)	Tiempo Teórico (min)
1	101.6	0.12	168.28	22.7
2	101.6	0.25	168.28	11.4

### ANEXO C. Cálculos de las eficiencias hidráulicas.

- Cálculo de la eficiencia hidráulica del modelo piloto actualmente armado en campo.



Las eficiencias hidráulicas fueron evaluadas mediante las pérdidas de energía que existe entre la entrada y salida del floculador, por lo cual partimos de los datos de presión obtenidos de WaterCAD, como se visualiza en la siguiente tabla.

Caudal (l/s)	Diámetro Interno (mm)	Longitud (m)	ENERGÍA DE PRESIÓN POR m.c.a. A LA ENTRADA DEL FLOCULADOR	PÉRDIDAS TOTALES DARCY-WEISBACH (m)	ENERGÍA DE PRESIÓN POR m.c.a. A LA SALIDA DEL FLOCULADOR
0.25	101.6	57.2	1.614	0.001846	1.612
	101.6	82.3	1.614	0.002644	1.611

Analizamos la primera longitud de 57.2 mm, calculamos el porcentaje de eficiencia analizando la presión al ingreso y salida del floculador.

$$Eficiencia = \frac{PRESION\ SALIDA * 100}{PRESION\ ENTRADA}$$

$$Eficiencia = \frac{1.612 * 100}{1.614}$$

$$Eficiencia = 99.89 \%$$

El mismo proceso se realiza para las diferentes combinaciones de caudales y longitudes.