

**EVALUACIÓN HIDRAULICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE LA HUARICHA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LA CABECERA
DEL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR CESAR**

AUTORES:

CARLOS ANDRES CONTRERAS CARO
DEIVER ANDRES SEPULVEDA HERRERA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2022

**EVALUACIÓN HIDRAULICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE LA HUARICHA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LA CABECERA
DEL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR CESAR**

AUTORES:

CARLOS ANDRES CONTRERAS CARO
DEIVER ANDRES SEPULVEDA HERRERA

DIRECTOR:

ING. ALVARO RAFAEL MEJÍA ACOSTA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2022

Nota de aceptación

Jurado 1

Jurado 2



Tabla de Contenido

Introducción	15
1. Planteamiento del problema	17
1.1 Formulación del problema.....	18
2. Justificación.....	20
3. Objetivos	21
3.1. Objetivo general.....	21
3.2. Objetivos específicos	21
4. Marco referencial.....	21
4.1. Antecedentes de la investigación.....	22
4.2 Marco teórico.....	25
4.2.1 Evaluación hidráulica de un Sistema de tratamiento de agua potable”	25
4.2.1.2.1 <i>Evaluación de las baterías de filtros.</i>	28
4.2.1.2.2 <i>Evaluación del sistema de cloración.</i>	29
4.3 Marco conceptual.....	37
4.3.1 Agua cruda.....	37
4.3.2 Agua potable	37
4.3.3 Análisis fisicoquímico del agua	37
4.3.4 Análisis microbiológico del agua.....	37
4.3.5 Calidad del agua.....	37
4.3.6 Capacidad máxima	38
4.3.7 Caudal de diseño	38
	4

4.3.8 Cloración	38
4.3.9 Coagulación	38
4.3.10 Decantación	38
4.3.11 Desinfección	38
4.3.12 Dosis óptima	38
4.3.13 Edificio de operación.....	39
4.3.14 Eficiencia de remoción	39
4.3.15 Evaluación de plantas de potabilización.....	39
4.3.16 Filtración.....	39
4.3.17 Floculación	39
4.3.18 Fuente de abastecimiento.....	39
4.3.19 Lodo.....	40
4.3.20 Mantenimiento correctivo.....	40
4.3.21 Mantenimiento preventivo	40
4.3.22 Mezcla rápida.....	40
4.3.23 Parámetros de control de un proceso.....	40
4.3.24 Parámetros de diseño	40
4.3.25 Prueba de jarras.....	41
4.3.26 Reglamentación prescriptiva.....	41
4.3.27 Registro de control de calidad.....	41
4.3.28 Resalto hidráulico.....	41

4.3.30 Turbiedad.....	42
4.4 Marco contextual.....	42
4.4.1 Generalidades de la empresa encargada del acueducto.....	42
4.4.2 El departamento del cesar en Colombia y su capital.....	43
4.4.3 Área de estudio sistema de tratamiento de agua potable “PTAP del municipio de Valledupar	44
4.4.4 Ubicación de la ptap de interés.....	44
4.5 Marco legal.....	45
4.6. Marco institucional	46
4.6.1. Información de la entidad	46
5. Marco metodológico	49
5.1 Tipo de investigación.....	49
5.2 Línea y sublínea de investigación.....	50
5.3 Población.....	50
5.4 Muestra.....	51
5.5 Desarrollo metodológico	51
5.5.1 Fase 1: Determinar las condiciones iniciales de funcionamiento y línea base, acorde con la exigencia de la población y evaluación hidráulica para el sistema de acueducto establecido por la norma (Resolución, 799/2019).....	51
5.5.2 Fase 2: Proponer alternativas de diseños para la optimización del servicio, según los requerimientos de la población y la capacidad instalada del sistema.	53

5.5.3 Fase 3: Presentar la mejor alternativa de optimización del servicio de agua potable, acorde a su viabilidad operativas, económicas y ambientales.	56
6. Resultados y discusión.....	57
6.1 Determinar las condiciones iniciales de funcionamiento y línea base, acorde con la exigencia de la población y evaluación hidráulica para el sistema de acueducto establecido por la norma (Resolución, 799/2019).....	57
6.1.1 Revisión primaria y secundaria.....	57
6.1.2 Identificar los procesos unitarios que componen la planta de tratamiento de agua potable de la cabecera municipal de Valledupar “PTAP LA HUARICHA”	60
6.1.3 Visita de campo.....	63
6.1.4 Proyección de población.....	63
6.1.4 Evaluación hidráulica.....	68
6.1.5 Evaluación de coagulación y mezcla rápida.....	72
6.1.6 Evaluación del proceso de floculación.....	73
6.1.7 Evaluación del proceso de sedimentación.....	83
6.1.8 Análisis Hidráulico para el caudal de diseño y operación de las Unidades de Tratamiento.....	93
6.1.9 Evaluación del proceso de filtración.	116
6.1.10 Verificar la calidad del afluente y efluente y analizar con base en su operación actual	126
6.2 Proponer alternativas de diseño para la optimización del servicio, según los requerimientos de la población y la capacidad instalada del sistema.	127
6.2.1 Alternativas de diseño para la optimización del servicio	127

6.3 Presentar la mejor alternativa de optimización del servicio de agua potable, acorde a su viabilidad operativas, económicas y ambientales.	129
6.3.1 Descripción de la mejor alternativa de optimización del servicio de agua potable	129
Conclusiones	131
Recomendaciones	132
Referencias	133
Anexos	139
Anexo A. Planos Planta Huaricha	139
Anexo B. Evidencias fotográficas	145
Anexo C. Floculadores y sedimentadores	155
Anexo D. Autorización de Ingreso a la PTAP	223
Anexo E. Solicitud formal a la empresa Emdupar S.A	224

Lista de tablas

Tabla 1.	45
Tabla 2.	64
Tabla 3.	67
Tabla 4.	69
Tabla 5.	94
Tabla 6.	95
Tabla 7.	100
Tabla 8.	102
Tabla 9.	104
Tabla 10.	104
Tabla 11.	106
Tabla 12.	109
Tabla 13.	113
Tabla 14.	117
Tabla 15.	117
Tabla 16.	118
Tabla 17.	125
Tabla 18.	156
Tabla 19.	171
Tabla 20.	193
Tabla 21.	204

Lista de figuras

Figura 1.....	31
Figura 2.....	32
Figura 3.....	32
Figura 4.....	33
Figura 5.....	34
Figura 6.....	34
Figura 7.....	35
Figura 8.....	35
Figura 9.....	43
Figura 10.....	44
Figura 11.....	47
Figura 12.....	49
Figura 13.....	73
Figura 14.....	74
Figura 15.....	74
Figura 16.....	75
Figura 17.....	75
Figura 18.....	76
Figura 19.....	76
Figura 20.....	77
Figura 21.....	77
Figura 22.....	78
Figura 23.....	78
Figura 24.....	79

Figura 25.	79
Figura 26.	80
Figura 27.	80
Figura 28.	81
Figura 29.	82
Figura 30.	82
Figura 31.	84
Figura 32.	85
Figura 33.	85
Figura 34.	86
Figura 35.	86
Figura 36.	87
Figura 37.	87
Figura 38.	88
Figura 39.	89
Figura 40.	89
Figura 41.	90
Figura 42.	90
Figura 43.	91
Figura 44.	92
Figura 45.	92
Figura 46.	93
Figura 47.	99
Figura 48.	105
Figura 49.	115
Figura 50.	116

Figura 51.....	120
Figura 52.....	121
Figura 53.....	122
Figura 54.....	123
Figura 55.....	124
Figura 56.....	126
Figura 57.....	195
Figura 58.....	211
Figura 59.....	220



Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el funcionamiento hidráulico de la planta de tratamiento de agua potable La Huaricha del sistema de acueducto de la cabecera del municipio de Valledupar Cesar. El estudio tiene un tipo de investigación descriptivo (evaluación) con un enfoque cuantitativo y cualitativo. Para la recolección de información, se aplicó la revisión de fuentes primarias y secundarias, para establecer el diagnóstico actual de la Planta, para posteriormente realizar la recolección de datos para el desarrollo de la evaluación hidráulica y así de esta manera conocer el estado actual en el que opera la Planta, donde se encontraron diferentes problemáticas en los floculadores, sedimentadores, filtros y mezcla rápida, evidenciándose la incapacidad de estos en su funcionamiento, ya que en los resultados obtenidos se logró denotar que actualmente muchos de estos sobre pasan los límites permisibles de acuerdo a la resolución 0330/2017 (RAS), en conclusión la mejor alternativa para mejorar el funcionamiento de la planta es la ampliación de la capacidad instalada de los floculadores, sedimentadores y filtros o en su defecto construir otras unidades que trabajen en paralelo, puesto que, dada la evaluación hidráulica analizada, existen sobre cargas en cada una de las unidades.

Palabras clave: Evaluación hidráulica, sedimentación, floculación, filtración.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the hydraulic operation of the La Huaricha drinking water treatment plant of the aqueduct system of the head of the municipality of Valledupar Cesar. The study has a type of descriptive research (evaluation) with a quantitative and qualitative approach. For the collection of information, the review of primary and secondary sources was applied, to establish the current diagnosis of the Plant, to later carry out the data collection for the development of the hydraulic evaluation and thus in this way to know the current state in which the Plant operates, where different problems were found in the flocculators, sedimentators, filters and rapid mixing, evidencing the inability of these in their operation, since in the results obtained it was possible to denote that currently many of these over exceed the permissible limits according to resolution 0330/2017 (RAS), in conclusion the best alternative to improve the operation of the plant is the expansion of the installed capacity of the flocculators, Sedimentators and filters or, failing that, build other units that work in parallel, since, given the hydraulic evaluation analyzed, there are loads in each of the units.

Key words: Hydraulic evaluation, sedimentation, flocculation, filtration.

Introducción

Uno de los problemas actuales y constantes que presenta la planta la Huaricha y que se logró observar en el presente estudio es la incapacidad que poseen los floculadores y sedimentadores los cuales no cumplen con el nivel requerido para su buen funcionamiento considerando que su buena gestión ambiental aporta, consistentemente a nivel social, ambiental y económico, donde principalmente se ve beneficiada la población, los ecosistemas y el medio ambiente en general. Por lo anterior en el presente estudio de investigación abarca la necesidad de evaluar las condiciones de suministro de agua, calidad y que satisfaga las condiciones de la población, aportando así a una mejora continua de la misma y también de preservar y utilizar muy bien dicho recurso, para de esta manera se logren evitar gastos innecesarios que se puedan contemplar a futuro.

La presente investigación está localizado en La Planta “La Huaricha”, la cual hace parte del sistema de suministro de agua potable del Municipio de Valledupar, y en la que se ha podido entablar que esta planta operan sobre los límites de su capacidad máxima de 1200 l/s , generando que sus unidades trabajen sobrecargadas (1650 l/s aproximadamente) y con ello una disminución en la calidad del agua potabilizada que se suministra a la población, infiriendo que no va a ser capaz de proveer las necesidades poblacional futura, por lo que se busca proponer un sistema que este en la función de atender los requerimientos expuestos.

El presente estudio en la primera fase se realizaron visitas en campo en la Planta, en donde se recopiló toda la información pertinente para realizar la evaluación hidráulica, por el interés de conocer el funcionamiento hidráulico de la misma, y de esta manera poder inferir estrategias y alternativas a su actual déficit de su capacidad instalada.

Para el desarrollo continuo del proyecto de investigación se desarrollaron las siguientes fases: la primera fase fue identificar los procesos unitarios que componen la planta de tratamiento de agua potable de la cabecera municipal de Valledupar “PTAP LA HUARICHA” mediante un diagnóstico actual describiendo cada uno de ellos y su funcionamiento. La segunda

fase fue determinar las condiciones iniciales de funcionamiento y línea base, acorde con la exigencia de la población y evaluación hidráulica para el sistema de acueducto donde se evidencia que esta planta está sujeta a sobrecargas, especialmente en las horas picos de consumo, resultando en una falla operacional que puede ser tipificada, así como la presencia de desgasificación en alguna de sus estructuras, fisuras y fugas por posibles desgastes y por último se proponen alternativas de diseños para la optimización del servicio, según los requerimientos de la población y la capacidad instalada del sistema, de acuerdo a los lineamientos establecidos por la resolución 0330/2017 (RAS).

1. Planteamiento del problema

El acueducto de La cabecera Municipal de Valledupar se abastece de la cuenca del río Guatapuri, como única fuente de captación, se capta directamente por medio de una bocatoma lateral sobre la margen derecha aguas abajo del río Guatapuri y conducida por un canal de aducción hasta un sistema de dos plantas de tratamiento de agua potable, “la Huaricha” y “la Gota fría”; de tipo convencional. (EMDUPAR, 2015)

El río Guatapuri es una corriente superficial regulada por CORPOCESAR, según la Resolución N° 139 de 1987, en la cual EMDUPAR S.A E.S.P, tiene un caudal concesionado de 1.800L/s mediante Resolución N° 022 del 25 de febrero de 2003. Su toma se hace por medio de un canal artificial conocido como Municipal (Octava derivación sexta derecha N° 8), ubicado a unos cinco (5) Kilómetros aguas arriba del puente Hurtado. (EMDUPAR, 2015).

Según información obtenida por Emdupar, la concesión otorgada o concebida por parte de CORPOCESAR a la planta no se está tomando de manera adecuada ya que, según la formulación del Plan Maestro, realizado por el consorcio Plan Maestro de Valledupar en el año 2014, se reportó que la PTAP La Huaricha tiene una capacidad máxima de 1200 L/s condicionada por las unidades de floculación en ese momento y con la información dada por Emdupar, indicó que la planta es operada con un caudal aproximadamente a 1650 l/s, lo que genera un desbordamiento de agua constante en el canal de admisión a Floculadores, bajo tiempos de retención en Floculadores y colmatación de los filtros. Es importante resaltar que la ubicación de la toma lateral, está generando inconvenientes hidráulicos debido a los grandes movimientos en masa, que se presentan en las épocas de invierno, definidos en altos caudales y altas velocidades de transporte de material pétreo (sobre tamaños de piedras), originando taponamientos en la entrada de la bocatoma lateral, lo cual conduce al cierre de las compuertas, desabasteciendo el volumen de caudal necesario para la cabecera municipal.

No obstante, a lo descrito en el párrafo anterior, uno de los problemas más significativo que se da en la planta de tratamiento, es en la época de invierno, lo cual genera la suspensión del servicio en la planta de tratamiento

Adicional a esto se puede contextualizar, que con base a la EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE VALLEDUPAR S.A. - EMDUPAR S.A. E.S.P, Realizada por la Superservicios en el año 2017, se determinó en el componente Técnico operativo que “La Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP está diseñada para operar cuando se aumentan las turbiedades hasta 2,000 NTU. En las épocas de lluvias, la turbiedad en la fuente supera este valor, por lo que se debe cerrar la PTAP, generando suspensiones en el abastecimiento de agua potable”. Sin embargo, hasta la presente, la problemática continúa y se hace caso omiso a la solución del problema.

La experiencia nos muestra que años tras años, se vive la misma situación y por ende es de interés de ir planteando soluciones mediáticas, como es el mejoramiento hidráulico en el contorno de la bocatoma lateral, y mientras esto no se logre, las plantas seguirán teniendo problemas de colmatación en los filtros, lo cual nos indica que los lavados en tiempos de invierno serán más constantes (cada 3 horas) y en tiempos de verano (cada 24 horas); desbordamiento y aumento de las pérdidas de agua dentro de la planta. Por lo que se es posible determinar, que si no se toman medidas en los problemas planteados, el deterioro en la planta se dará de manera más rápida y no alcanzara el tiempo de diseño de periodo establecido por el RAS 2017.

1.1 Formulación del problema

¿Cómo funciona hidráulicamente la planta de tratamiento de agua potable La Huaricha de la cabecera urbana del municipio de Valledupar-Cesar y cuáles serían las medidas preventivas necesarias que deben tomarse para garantizar un comportamiento adecuado en todos los procesos unitarios (Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración, Cloración e incluso retro lavado)?

¿Qué falencias se presentan en los procesos unitarios de la planta de agua potable la Huaricha?

2. Justificación

Actualmente las plantas de tratamiento de agua potable son de vital importancia para las comunidades debido a que facilitan el acceso al preciado líquido, de ahí que las infraestructuras que permiten este acceso sean tan necesarias. Y, precisamente, este es el papel de una planta potabilizadora de agua: procesar el agua no potable para el consumo humano.

Por lo tanto, la investigación suscita el buen funcionamiento de la PTAP (Planta de Tratamiento de Agua Potable) la Huaricha del sistema de acueducto de la cabecera municipal de Valledupar. Dado el crecimiento poblacional de los últimos 20 años, es de interés la optimización de la PTAP en el Municipio, debido a que su periodo de vida útil ha sido deteriorada al transcurrir el tiempo, siendo esto producto del crecimiento poblacional actual, por consiguiente la planta no es capaz de atender la demanda de la población; y debido a esto se ha visto reflejado en una prestación del servicio deficiente, por eso se hace necesario la revisión de su capacidad acorde con la proyección de la población y los parámetros de diseño establecidos en la resolución 0330 de 2017, siendo prioritario su evaluación hidráulica.

La presente investigación permite establecer recomendaciones y condiciones hidráulicas para mejorar la eficiencia de operación de la PTAP Huaricha. Aportando así a la empresa una nueva actualización sobre el estado actual en el que se encuentran sus instalaciones, para que de esta manera puedan tomar medidas al respecto y puedan mejorar cada una de las falencias que se identifiquen y de esta manera pueda beneficiarse la comunidad y ya no hayan tantos razonamientos de agua y logren en su totalidad el disfrute del servicio.

Así mismo se permite evaluar las condiciones actuales de operación y la generación de medidas acorde a las normas técnicas para su optimización y calidad del servicio de agua potable a la comunidad de Valledupar.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Evaluar el funcionamiento hidráulico de la planta de tratamiento de agua potable La Huaricha del sistema de acueducto de la cabecera del municipio de Valledupar Cesar.

3.2. Objetivos específicos

Determinar las condiciones iniciales de funcionamiento y línea base, acorde con la exigencia de la población y evaluación hidráulica para el sistema de acueducto establecido por la norma (Resolución, 799/2019)

Proponer alternativas de diseños para la optimización del servicio, según los requerimientos de la población y la capacidad instalada del sistema.

Presentar la mejor alternativa de optimización del servicio de agua potable, acorde a su viabilidad operativas, económicas y ambientales.

4. Marco referencial

4.1. Antecedentes de la investigación

(Fandiño & Camargo, 2013), desarrollaron la investigación titulada Evaluación y Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Purificación en el departamento de Tolima con la finalidad de Proponer una alternativa de diseño viable y eficiente a la planta de tratamiento de agua potable actual del municipio de purificación. Mediante una visita previa, lograron plasmar opciones de optimización de sus estructuras, para sacarle el máximo potencial, dando como resultado y concluyendo que se debe dividir el caudal al inicio del tratamiento, para aplicar menos químico utilizado en el proceso, utilizar alternadamente 9 cámaras de las 21 existentes en el proceso de floculación, aumentar el número de Sedimentadores a 4, así como sus dimensiones, también aumentar el número de filtros a 4 para garantizar una mayor remoción. Recomendaciones que si bien, sirven de gran apoyo para posteriores ajustes a dicha planta.

((Clavijo, 2013), s.f.), desarrolló la investigación titulada evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de garzón – Huila, para optar por el título de ingeniero civil , en la universidad militar nueva granada, con la finalidad de establecer si el sistema de abastecimiento de agua (a partir de la fuente hasta el sitio de consumo), consigue proveer agua de calidad que cumpla con los objetivos en salud de acuerdo con la evaluación del peligro, caracterización del riesgo y determinación de las medidas de control. El autor describe descripción la normativa aplicable a la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano, la descripción estructural de la PTAP, el análisis de muestras tomadas para establecer la calidad del agua en relación al cumplimiento de la normativa, detallando los parámetros que con mayor frecuencia se incumplen y así generar las recomendaciones adecuadas para que de ser necesario se adopten medidas de fortalecimiento y encaminadas al cumplimiento de la normatividad.

((Vargas & Cuellar 2019), s.f.), formularon este proyecto de investigación titulado evaluar la operación de la planta de tratamiento de agua potable número dos de Chiquinquirá para elaborar

una propuesta técnico – económica de mejoramiento, para optar por el título de ingeniero ambiental y sanitaria, en la universidad de la Salle, este proyecto se realizó con la finalidad de evaluar la operación de la planta de tratamiento de agua potable número dos de CHIQUINQUIRÁ para elaborar una propuesta técnico – económica de mejoramiento,

El proyecto se desarrolló en cinco etapas, constituidas por la Fase I: consulta bibliográfica, en esta fase se realizó un análisis bibliográfico y de esta manera tener conocimiento sobre el tema a investigar. Fase II: estuvo conformada por el diseño experimental, en éste se indagó sobre el proceso de tratamiento y potabilización llevados a cabo en la planta de EMPOCHIQUINQUIRÁ, igualmente estuvo constituida por cinco grandes etapas, a los que se evaluó su funcionamiento desde la perspectiva de rendimiento de proceso. Fase III: Experimento, en esta fase la empresa prestadora del servicio público, EMPOCHIQUINQUIRÁ, suministró algunos datos, en donde se pudo observar que los parámetros se manejan solo de manera global (no por unidad), por lo cual se propuso realizar muestreos en las unidades de las plantas y de esta manera identificar el porcentaje de remoción de cada unidad. Fase IV: Análisis y propuesta económica, en esta fase se obtuvieron resultados de los análisis realizados en las etapas establecidas, los cuales sirvieron como insumo para el análisis técnico del sistema de potabilización de agua de EMPOCHIQUINQUIRÁ.

(Higuera & Parra, 2018, s.f.), desarrollaron esta investigación titulada evaluación hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Togüí – Boyacá, para optar por el título de ingeniero civil, en la universidad piloto de Colombia, esta investigación tiene como finalidad Realizar el diagnóstico operativo de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Togüí – Boyacá. Este proyecto consta de cinco fases mediante las cuales se pudo definir el comportamiento de la PTAP del municipio de Togüí, En la primera fase se hizo una investigación previa relacionada con el tema a tratar, el cuál consistía en la obtención en la lectura de estudios anteriores. En una segunda fase se realizó una visita de campo a la PTAP del municipio,

para verificar el comportamiento hidráulico. En la tercera fase se hizo una recolección de la información brindada por la alcaldía del municipio, tales como manuales operación, planos técnicos e informes realizados a la planta, luego se procede a la cuarta fase en la cual se analiza la información recolectada, verificando que las características físico-químicas del agua cumplan con los parámetros establecidos con el resolución 2115 del 2007, a su vez dando cumplimiento a las condiciones en las que se encuentran las estructuras unitarias con base a la resolución 0330 del 2017. En la quinta fase se presentan las conclusiones y recomendaciones a la PTAP, analizando cada proceso unitario tales como; proceso de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Finalizando esta investigación da respuesta al funcionamiento de la PTAP en el municipio de Togüí, Boyacá.

((Perez, 2016), 2016), desarrolló la investigación titulada diagnóstico y evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de guateque en el departamento de Boyacá - Colombia, para optar por el título de ingeniero civil, en la universidad católica de Colombia, el documento es realizado con el fin de evaluar y diagnosticar la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) ubicada en municipio de Guateque (Boyacá), identificar cuáles son los problemas que impiden su debido funcionamiento, para esto se analizara el funcionamiento y comportamiento hidráulico de cada una de sus partes que la conforman, teniendo en cuenta que el solo hecho de que un sistema de abastecimiento de agua se encuentre bien concebido y sus elementos estén claramente definidos, no es garantía de la efectividad de su funcionamiento. Para la ejecución del proyecto y los estudios de diseños necesarios, se ejecutara una propuesta teniendo en cuenta los parámetros y criterios dados en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Teniendo como resultados un diagnóstico y evolución del estado actual de la PTAP, se identificaron las falencias y prioridades del tratamiento de agua potable del municipio de Guateque, Se identificó que los cálculos realizados para el diseño actual de la canaleta Parshall existente no cumplen con el número de Froude, la velocidad establecida ni la relación ha/W en el RAS 2000.

Se sugiere rehabilitarla, realizando mantenimiento general a todas las unidades actuales, como Floculadores, sedimentadores y filtros, sustituyendo algunos elementos eléctricos y dotando a la planta de los equipos de laboratorio para control de procesos y equipos para suministro de coagulante y desinfectante.

4.2 Marco teórico

4.2.1 Evaluación hidráulica de un Sistema de tratamiento de agua potable”

La evaluación hidráulica de una planta de tratamiento, comprende un análisis detallado del funcionamiento y comportamiento hídrico de la cuenca abastecedora, el cual nos dará la oportunidad de asegurar el caudal para el consumo de una población. Y es allí, donde buscaremos la ruta indicada para dar el soporte técnico ingenieril del estudio en mención, determinando los factores y procesos que realmente pueden incidir en la materialización de la presente evaluación hidráulica.

4.2.1.1 Factores predominantes en el desarrollo de estudio hidráulico o evaluación hidráulica

4.2.1.1.1 Características Morfométricas

Se define como el estudio de las características físicas de la cuenca hidrográfica, y su mayor utilidad está dada en el análisis que permite desarrollar respecto a la red de drenaje de la misma, los grados de pendiente y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos que le confieren.

4.2.1.1.2 Características fisiográficas

El fundamento del estudio fisiográfico tiene como objetivo reconocer y delimitar las diferentes formas de la tierra, así como los rasgos generales del modelado de la zona de interés

4.2.1.1.3 Condiciones de operación y mantenimiento

Dependerá de que condiciones de mantenimiento se requiere o que tan especializado será el personal que requiere para coadyuvar el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable

4.2.1.1.4 Disponibilidad del terreno:

El interrogante será, si hay suficiente espacio para una futura ampliación de la PTAP.

4.2.1.1.5 Control de caudales

Hace referencia a la medición del caudal medio diario y horario Como resultado de la evaluación del sistema de tratamiento, se obtendrá información valiosa que comprenderá la determinación de las condiciones para mejorar la eficiencia del sistema. Se requiere un análisis detallado de los procedimientos de evaluación específicos para cada proceso que integra la planta de tratamiento de agua potable (Alvarez, Angarita, & Bejarano, 2008).

4.2.1.2 Procesos que permiten el desarrollo de un estudio hidráulico o evaluación hidráulica

Evaluación del proceso de coagulación.

Los principales elementos que influyen en este proceso son los siguientes

- Características de las aguas: pH, temperatura, alcalinidad, turbiedad y color.
- Características de las sustancias químicas utilizadas: tipo, dosis y concentración.
- Características de las unidades de dosificación: tipo y exactitud.
- Lugar y forma de aplicación del coagulante.

Evaluación de la mezcla rápida.

Para determinar el comportamiento de la unidad de mezcla rápida, se recomienda efectuar los siguientes ensayos.

- Geometría de la unidad.
- Punto de aplicación de las sustancias químicas.

- Determinación del tiempo de mezcla.
- Determinación de la intensidad de mezcla (gradiente).
- Condiciones hidráulicas de la obra de interconexión.

Evaluación de los Floculadores.

La unidad de floculación tiene la función de formar el floculo, que debe reunir ciertas características como peso, tamaño y aglutinación, para lograrlo esta unidad debe trabajar bajo determinados parámetros que están en función de la calidad del agua tratada.

A continuación, se detallan los ensayos que es preciso llevar a cabo al evaluar las características del proceso de floculación.

- Geometría de la unidad.
- Caudal de operación.
- Tiempo de retención de la unidad de floculación.
- Intensidad de floculación o gradiente de velocidad en la unidad.
- Tipo de flujo, espacios muertos y cortocircuitos.
- Tiempo de formación de floculo.
- Tamaño del floculo producido.

Evaluación de sedimentadores.

La sedimentación es el primer proceso de remoción y debido a su gran eficiencia en una planta es el más importante mecanismo para separar solidos de líquidos.

Los factores más importantes que afectan la eficiencia remocional de una unidad de sedimentación y/o decantación son los siguientes.

- Las características del proceso y las condiciones del flujo hidráulico.
- Las características físico químicas de las aguas.
- Las características del pretratamiento: mezcla-floculación.

- Diseño de las unidades y zonas de entrada, sedimentación y salida de agua.
- Las características de las obras de interconexión.
- Operación y mantenimiento.

La evaluación de una unidad de sedimentación comprende:

- Eficiencia.
- Geometría de la unidad.
- Comportamiento del canal de distribución.
- Tiempo de retención.
- Características hidráulicas.
- Velocidad óptima de sedimentación.
- Características de las zonas de entrada y salida.
-

4.2.1.2.1 Evaluación de las baterías de filtros.

Como consecuencia de las características de la suspensión del medio filtrante, de la velocidad de filtración, la pérdida de carga y la calidad del agua filtrada, son las variables del proceso más fácil de controlar y posiblemente de mayor significado en la operación del filtro. A continuación, se describen los procedimientos para evaluar cómo influyen todas las variables en una instalación de tratamiento de agua potable.

- Características de la unidad.
- Eficiencia del proceso.
- Características del proceso de filtración.
- Características del medio filtrante.
- Características del proceso de lavado.

4.2.1.2.2 *Evaluación del sistema de cloración.*

La cloración debe servir para asegurar que la calidad del agua producida por la planta no desmejore al ser transportada a las viviendas de los usuarios. La remoción de la contaminación debe ser mayormente efectuada por la decantación y completada en los filtros.

Las características del sistema que más influyen en la eficiencia de la cloración son:

- El tiempo real de contacto.
- La dosis de cloro aplicada.
- Las características del sistema de aplicación.
- Las características del compuesto de cloro aplicado.
- Las características de la caseta de cloración. Fuente: (Gomez, 2014)

4.2.1.3 **Importancia del estudio hidráulico para la eficiencia en la potabilización del agua cruda**

Definidos los factores y procesos en el estudio hidráulico, cabe resaltar la importancia de la potabilización del agua captada, fundamentando la tesis de que el agua tratada nos ayuda a estar sanos, a hacer la digestión, mantiene la musculatura en buen estado, actúa refrigerando o calentando el cuerpo y ayuda a transportar el oxígeno entre las células de nuestro cuerpo. Por eso es muy importante conservar limpia el agua potable y detener la contaminación.

Tipos de modeladores hidráulicos de PTAP

WaterCAD (descripción basada en versión **V8i**)

Posee diferentes herramientas y tipos de cálculo complementarios al análisis hidráulico convencional. Tipos de Cálculo (Régimen Permanente): ... Análisis de Calidad de Agua (Análisis de tipo EPS con tres variantes: Edad del Agua, Rastreo de Fuente o Constituyente)

EPANET

Es un software libre, desarrollado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), que realiza simulaciones del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías a presión

HEC-RAS:

Software libre para el estudio de ríos y sus niveles de caudal para las diferentes avenidas consideradas.

FLUIDFLOW.

Es el software de referencia del mercado para cálculo de redes hidráulicas unidimensionales. Permite analizar cualquier fluido (compresible, incompresible, newtoniano, slurries...) en cualquier régimen (estacionario, transitorio). Todo en un entorno gráfico simple, robusto e intuitivo. Permite además la customización de capacidades adicionales no implementadas inicialmente en el software (Simulaciones y proyectos, 2021).

4.2.1.4 Fórmulas utilizadas en el cálculo de una evaluación hidráulica

Forma de cuenca:

la forma de la cuenca es fundamental para conocer el comportamiento morfo dinámico e hidrológico de la misma; a través de índices o coeficientes aplicados con las fórmulas establecidas por (Gavilán G. s.f.) se conoce el movimiento del agua durante eventos máximos de precipitación

Figura 1.

Resumen y coeficientes de forma para la clasificación de cuencas

Resumen de índices y coeficientes de forma para clasificación de cuencas

PARÁMETRO	ECUACIÓN	INTERPRETACIÓN
		K_C 1,00 – 1,25: Cuenca redonda a oval redonda.
		K_C 1,25 – 1,50: Cuenca de oval oblonga a rectangular oblonga.
Factor de forma F	$F = \frac{A}{L^2}$	$F > 1$: Cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas. $F < 1$: Cuenca alargada, baja susceptibilidad a las avenidas.
Índice de alargamiento l_a	$l_a = \frac{L_m}{l}$	$l_a > 1$: Cuenca alargada. $l_a \approx 1$: Cuenca achatada y por lo tanto el cauce principal es corto.
Índice asimétrico I_{as}	$I_{as} = \frac{A_{max}}{A_{min}}$	$I_{as} > 1$: Cauce principal bastante recargado a una de las vertientes. $I_{as} \approx 1$: Distribución uniforme del Cauce principal.

Fuente: Gavilán, G. s.f.

Coefficiente de Masividad

Por medio de este parámetro podemos evidenciar la condición de la cuenca con respecto a si es una cuenca montañosa o por el contrario es una cuenca plana, para este entonces utilizamos la siguiente ecuación

$$K_m = \frac{\text{Altura media de la cuenca (msnm)}}{\text{Área de la cuenca (Km}^2\text{)}} \quad (1)$$

Ecuaciones útiles en el cálculo hidrológico

Figura 2.

Ecuaciones cálculo estudio hidrológico

ESTUDIO HIGROLÓGICO			
DESCRIPCIÓN	ÍTEM	ECUACIÓN	UNI
Datos faltantes	P_x	$P_x = \frac{1}{n} \left[\left(\frac{N_x}{N_1} \right) P_1 + \left(\frac{N_x}{N_2} \right) P_2 + \dots + \left(\frac{N_x}{N_n} \right) P_n \right]$ (Monsalve, 1999)	mm
Pendiente	S	$S = \frac{\Delta H}{L}$ (Monsalve, 1999)	%
Tiempo de concentración	T_c	$T_c = 0,3 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$ (Instituto Nacional de Vias, 2009)	h
Intensidad	i	$\bar{i} = \frac{a * Tr^b * M^d}{\left(\frac{t_c}{60} \right)^c}$ (Instituto Nacional de Vias, 2009)	mm/h

Figura 3.

Ecuaciones para el cálculo de proyección de la población y caudales

PROYECCIONES DE POBLACIÓN Y CAUDALES			
DESCRIPCIÓN	ÍTEM	ECUACIÓN	UNI
Proyección de la población. (Método aritmético)	P_f	$P_f = P_{UC} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$ (Lopez, 2003)	Personas
Proyección de la población. (Método Geométrico)	P_f	$P_f = P_{UC} + (1 - r)^{T_f - T_{uc}}$ (Lopez, 2003)	Personas
Tasa de crecimiento anual	r	$r = \frac{P_{uc}^{T_{uc} - T_{ci}}}{P_{ci}} - 1$ (Lopez, 2003)	Adimensi onal
Proyección de la población.	P_f	$P_f = P_{ci} * e^{k * (T_f - T_{ci})}$ (Lopez, 2003)	Personas

(Método Exponencial)			
Tasa de crecimiento de población	k	$k = \frac{\ln(P_{cp}) - \ln(P_{ca})}{T_{cp} - T_{ca}}$ (Lopez, 2003)	Adimensional
Dotación bruta	d_{bruta}	$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%P}$ (Lopez, 2003)	L/H/D
Demanda media diaria	Q_{md}	$Q_{md} = \frac{Ps * d_{bruta}}{86400}$ (Lopez, 2003)	L/s
Demanda máxima diaria	QMD	$QMD = Q_{md} * K_1$ (Lopez, 2003)	L/s
Demanda máxima	QMH	$QMH = Q_{md} * K_2$ (Lopez, 2003)	L/s
Caudal de diseño	Q_d	$Q_d = QMD * 2$ (Lopez, 2003)	L/s

4.2.1.5 Equipos y Herramientas para pruebas de campo

Figura 4.

Equipo Portátil Para Prueba Hidrostática TSP



Herramienta para aforo o Molinete/ dopplers

Se usa para cálculo de caudales

Figura 5.

Herramienta para aforo o Molinete/ dopplers



Figura 6.

Herramienta Contador/Caudalimetro ID-JAPYTEX



Medidor de velocidad de flujo n el agua P-670



Permeámetro Guelph.

El permeámetro Quelpo es un instrumento de fácil manejo que permite medir in-situ la conductividad hidráulica de una manera rápida y precisa

Figura 8.

Permeámetro Guelph.



4.2.1.6 Métodos a utilizar para los estudios hidráulicos en campo

Métodos de cálculo de la conductividad hidráulica saturada de campo

Este método mide el flujo de recarga necesario para mantener una profundidad constante de agua en un pozo cilíndrico realizado por encima del nivel freático.

Métodos hidráulicos

Son los precursores de los métodos de tercera generación o métodos de simulación de hábitat (Palma-Raymundo, 2013) y se caracterizan por establecer una relación simple entre los índices hidráulicos del río y el hábitat de la vida acuática.

Métodos Morfométricas

Es el análisis cuantitativo de la superficie terrestre; entre sus variables fundamentales están la altimetría o hipsometría, la pendiente del terreno y la densidad del drenaje, aunque se pueden conformar de muchas más dependiendo de la morfodinámica y la morfogénesis (Pedraza, 1996).

El método del flotador

Es uno de los métodos más simples de usar. Se aplicación se basa en encontrar la velocidad del agua a través de arrojar objetos flotantes sobre el cauce y medir la sección transversal del cauce para obtener el valor del caudal con estos dos valores, sin embargo, este método no suele emplearse con frecuencia debido a que presenta grandes errores.

Método volumétrico

Este método se aplica en pequeñas corrientes o riachuelos debido a ser un método exacto para este tipo de afluentes. Consiste en medir el tiempo que usa el afluente de agua para llenar un volumen de agua dentro de un depósito impermeable, luego se obtendrá el caudal de la relación volumen/ tiempo.

Método de Parshall

Este método lo estableció Ralph Parshall en 1920. El aforador Parshall suele emplearse en canales o cauces pequeños, además también se diseña dentro de las estructuras para el

abastecimiento de agua potable. Este método consiste en obtener lecturas del nivel de agua dentro del aforador Parshall para luego obtener el valor del caudal por medio de la ecuación: $Q = C * H^n$, donde Q será el valor del caudal, H la altura del agua y C será el coeficiente que dependerá de las dimensiones del canal donde se encuentre ubicado.

4.3 Marco conceptual.

4.3.1 Agua cruda

Es el agua natural que no ha sido sometida a procesos de tratamiento para su potabilización (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.2 Agua potable

Es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, es apta para el consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.3 Análisis fisicoquímico del agua

Prueba de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.4 Análisis microbiológico del agua

Prueba de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo o cantidad de micro organismos (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.5 Calidad del agua

Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.6 Capacidad máxima

Caudal máximo de diseño de una estructura hidráulica (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.7 Caudal de diseño

Caudal estimado con el cual se diseñan las estructuras y partes de un sistema determinado (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.8 Cloración

Aplicación del cloro al agua, generalmente para desinfectar o para oxidar compuestos indeseables (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.9 Coagulación

Agregación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua a tratar por medio de la aplicación de algún agente coagulante (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.10 Decantación

Remoción por efecto de la gravedad de las partículas en suspensión presente en el agua, no sin antes haber adicionado algún coagulante (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.11 Desinfección

Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de organismos patógenos presentes en el agua (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.12 Dosis óptima

Concentración que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.13 Edificio de operación

Área o conjunto de dependencias de una planta de tratamiento de agua potable que cumple determinadas funciones auxiliares, directa o indirectamente ligadas al proceso de tratamiento, necesarias para su correcta operación, mantenimiento y control (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.14 Eficiencia de remoción

Medición de la certeza y capacidad de un proceso en la remoción de una sustancia específica (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.15 Evaluación de plantas de potabilización

Comprende un estudio del comportamiento hidráulico de cada una de las fracciones que físicamente la conforman, de su eficiencia y de la forma en que se está siendo administrada (Alvarez, Angarita, & Bejarano, 2008).

4.3.16 Filtración

Proceso por el que se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.17 Flocculación

Agregación de partículas sólidas en una dispersión coloidal en general por la adición de un agente químico (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.18 Fuente de abastecimiento

Depósito o curso de agua superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.19 Lodo

Contenido de sólidos en suspensión o disolución que contiene el agua y que se remueve durante los procesos del tratamiento (Alvarez, Angarita, & Bejarano, 2008).

4.3.20 Mantenimiento correctivo

Conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido una parada forzosa o imprevista (Congreso de la república, 2012).

4.3.21 Mantenimiento preventivo

Conjunto de actividades que se llevan a cabo en un equipo instrumento o estructura con el propósito de que opere a su máxima eficiencia de trabajo, evitando que se produzcan paradas forzosas o imprevistas (Congreso de la república, 2012).

4.3.22 Mezcla rápida

Agitación violenta para producir la dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua (Alvarez, Angarita, & Bejarano, 2008).

4.3.23 Parámetros de control de un proceso

Criterios preestablecidos que se utilizan como base para compararlos con los obtenidos en un proceso, con el fin de controlar o medir la eficiencia del mismo (Alvarez, Angarita, & Bejarano, 2008).

4.3.24 Parámetros de diseño

Criterios preestablecidos con los que se diseñan y construyen cada uno de los equipos de la planta de tratamiento (Alvarez, Angarita, & Bejarano, 2008).

4.3.25 Prueba de jarras

Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta (Alvarez, Angarita, & Bejarano, 2008).

4.3.26 Reglamentación prescriptiva

Disposiciones cuyo objetivo es determinar en forma explícita exigencias mínimas de seguridad en elementos que están o van a estar expuestos en áreas propensas a eventos peligrosos con el fin de preestablecer el nivel de riesgo aceptable en dichas áreas (Congreso de la república, 2012).

4.3.27 Registro de control de calidad

Recopilación escrita de los resultados con los análisis del agua que se suministra a la población (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.28 Resalto hidráulico

Discontinuidad de la superficie del agua en la cual el flujo pasa de una manera abrupta de un régimen rápido (supercrítico) a un régimen tranquilo (Subcrítico) y depende del número de Froude (RAS, 2017)

4.3.29 Tiempo teórico de detención (T_d)

Volumen de un reactor (V) dividido por el caudal (Q) con que trabaja o el tiempo teórico que tarda una masa líquida en desplazarse de un punto a otro, suponiendo flujo pistón (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.3.30 Turbiedad

Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión (Vanegas Padilla & Vergara Rada, 2008).

4.4 Marco contextual.

4.4.1 Generalidades de la empresa encargada del acueducto.

La plata de agua potable EMDUPAR S.A se encuentra ubicada en el Departamento del Cesar, más específicamente en el municipio de Valledupar, con unas coordenadas de ubicación exactas, 10°30'15'' N y 73°16'37'' W. (EMDUPAR S.A. – E.S.P., 2021).

Política integral de gestión

En Emdupar S.A E.S. P, somos una empresa que trabaja comprometida con la CALIDAD, LA EXCELENCIA EN EL SERVICIO, LA SEGURIDAD Y LA NORMATIVIDAD VIGENTE; satisfaciendo las necesidades de nuestros clientes, accionistas y comunidad, para contribuir a un desarrollo Ambiental, Económico y social sostenible. (EMDUPAR S.A. – E.S.P., s.f.)

-Comprometida con el mejoramiento continuo y como empresa socialmente responsable Emdupar S.A E.S. P, asegura la gestión transparente de sus procesos y la administración de los riesgos asociados con la prestación del servicio.

-Comprometida con el desarrollo sostenible ambiental, Económico y social que satisface las necesidades del presente, protegiendo las generaciones futuras.

-Comprometida con fomentar la cultura preventiva y de control sobre los eventos de seguridad industrial y de salud ocupacional de su personal, brindando un mejor entorno laboral.

4.4.3 Área de estudio sistema de tratamiento de agua potable “PTAP del municipio de Valledupar

Figura 10.

Ubicación PTAP



Fuente: Google Maps, 2021.

4.4.4 Ubicación de la ptap de interés.



Fuente: Google Earth, 2021.

La PTAP La Huaricha, con caudal de diseño de 1200 L/s respectivamente, es de tipo convencional y cuenta con los procesos de Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración, Cloración e incluso retro lavado. El coagulante adicionado al proceso de tratamiento es Sulfato de Aluminio tipo A, este proceso del tratamiento del agua beneficia a toda la zona de la cabecera del municipio de Valledupar - Cesar (EMDUPAR S.A. – E.S.P., 2021).

4.5 Marco legal.

Tabla 1.

Marco de referencias legales

Tipo de norma.	Número de Norma.	Nombre de norma.
Ley	142 de 1994	Establece en los artículos 160 a 166 disposiciones especiales para la prestación eficiente de servicios de agua potable y saneamiento, como lo es el diseño y la coordinación de programas de investigación científica, tecnológica y administrativa para el desarrollo del sector. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Decreto	1575 de 2007	
Resolución	0330 de 2017	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS
Resolución	2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Artículo	366	El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado.

Artículo	367	"La Ley fijará las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta además de los criterios de costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos.
Artículo	368	La Nación, los departamentos, los distritos, los municipios y las entidades descentralizadas podrán conceder subsidios, en sus respectivos presupuestos, para que las personas de menores ingresos puedan pagar las tarifas de los servicios públicos domiciliarios que cubran sus necesidades básicas.
Artículo	369	La ley determinará los deberes y derechos de los usuarios, el régimen de su protección y sus formas de participación en la gestión y fiscalización de las empresas estatales que presten el servicio. Igualmente definirá la participación de los municipios o de sus representantes, en las entidades y empresas que les presten servicios públicos domiciliarios.
Artículo	370	Corresponde al Presidente de la República señalar, con sujeción a la ley, las políticas generales de administración y control de eficiencia de los servicios públicos domiciliarios y ejercer por medio de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el control, la inspección y vigilancia de las entidades que los presten

Fuente: Autores, 2021.

4.6. Marco institucional

4.6.1. Información de la entidad

EMDUPAR S.A. – E.S.P.

Razón social: EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE VALLEDUPAR

NIT: Sociedad Anónima

Servicios prestados: Acueducto y Alcantarillado

Zona Urbana Atendida: Valledupar

Figura 11.

Logotipo EMDUPAR S.A.-E.S. P.



Fuente: Página principal de Emdupar S.A

Misión: Prestar servicios de acueducto y alcantarillado con productos y servicios de calidad, contribuyendo a la sostenibilidad Ambiental, Económica y social. (EMDUPAR S.A. – E.S.P., s.f.)

Visión: Ser una empresa de servicios públicos líder en la región, competitiva y reconocida en los mercados nacionales, garantizando la sostenibilidad Ambiental, Económica y social. (EMDUPAR S.A. – E.S.P., s.f.)

Política integral de gestión

En Emdupar S.A E.S. P, somos una empresa que trabaja comprometida con la CALIDAD, LA EXCELENCIA EN EL SERVICIO, LA SEGURIDAD Y LA NORMATIVIDAD VIGENTE; satisfaciendo las necesidades de nuestros clientes, accionistas y comunidad, para contribuir a un desarrollo Ambiental, Económico y social sostenible. (EMDUPAR S.A. – E.S.P., s.f.)

- Comprometida con el mejoramiento continuo y como empresa socialmente responsable Emdupar S.A E.S. P, asegura la gestión transparente de sus procesos y la administración de los riesgos asociados con la prestación del servicio.

- Comprometida con el desarrollo sostenible ambiental, Económico y social que satisfice las necesidades del presente, protegiendo las generaciones futuras.
- Comprometida con fomentar la cultura preventiva y de control sobre los eventos de seguridad industrial y de salud ocupacional de su personal, brindando un mejor entorno laboral.

Se anexa imagen de respuesta vía correo electrónico por parte de la empresa EMDUPAR S.A.E.S.P. Donde dan la autorización para el ingreso total de la planta.

Figura 12.

Autorización de ingreso a la planta



5. Marco metodológico

5.1 Tipo de investigación.

La metodología o técnica a desarrollar en esta investigación es mixta (evaluación) con un enfoque cuantitativo y cualitativo. De acuerdo a (Hernández Sampieri, 2014) los métodos mixtos

representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio. Teniendo en cuenta esta definición, se puede inferir que el presente proyecto hace parte de este tipo de investigación.

5.2 Línea y sublínea de investigación.

El programa de ingeniería ambiental y sanitaria cuenta con una línea de investigación “Sostenibilidad y gestión ambiental”, y sub-líneas, que a su vez contienen líneas terciarias; en la cual se considera la sub-línea “Gestión integral del recurso hídrico”. La línea de investigación fina correspondiente para el presente proyecto es “Evaluación Hidráulica del sistema de tratamiento de agua potable “PTAP” de la Huaricha.

Teniendo como consideración que el tema de estudio tiene un buen sustento teórico se procedió a realizar una investigación de tipo descriptivo, esto con el fin de evaluar cada uno de los componentes de la PTAP.

5.3 Población

La población de estudio, es la que se verá beneficiada por este proyecto, en referencia con la planta de tratamiento la Huaricha, se tiene que en Valledupar en el año 2020 la población era aproximadamente de 533.000 habitantes, y con el volumen que llega a la PTAP la Huaricha de 1200 l/s, la población que se beneficia es de 355.000 Habitantes, el resto de la población con un alcance de 177.000 habitantes es manejado por la planta la Gota Fría, teniéndose en cuenta que esta planta su alcance dinámico es de 600 l/s

5.4 Muestra

En este caso la información estará determinada por el área de contorno del sistema de tratamiento la Huaricha, con un área de: 5.48 Hectáreas.

5.5 Desarrollo metodológico

El desarrollo metodológico en el presente estudio será de una forma dinámica, teniendo en cuenta la Resolución 0331 de 2017, la cual reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño y construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo. (ACODAL, 2017), y todo lo anterior en secuencia de realizar la evaluación hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable la Huaricha del sistema de acueducto de la cabecera del municipio de Valledupar-cesar, cumpliendo de esta forma con el Objetivo General.

A continuación, se detallarán las distintas etapas del proyecto, enmarcados en los objetivos específicos

5.5.1 Fase 1: Determinar las condiciones iniciales de funcionamiento y línea base, acorde con la exigencia de la población y evaluación hidráulica para el sistema de acueducto establecido por la norma (Resolución, 799/2019)

Actividad 1.1 Revisión primaria y secundaria

Se revisaran investigaciones para recolectar datos que pueda ser útiles para cualquier actividad en el presente estudio, y que pueda brindar un conocimiento más amplio de la forma en que opera la planta La Huaricha, esto se hará a partir de información primaria y secundaria, que servirá para integrar criterios de mucho valor para algunos análisis, este se llevara a cabo mediante visitas técnicas a la planta, entrevista a los directivos y operarios encargados, y solicitud de

51

aquellos documentos técnicos que nos puedan proveer la empresa Emdupar S.A.S. y puedan servir de soporte para la investigación.

Actividad 1.2 Identificar los procesos unitarios que componen la planta de tratamiento de agua potable de la cabecera municipal de Valledupar “PTAP LA HUARICHA”

Se identificarán y se describirán cada uno de los procesos unitarios existente en la Planta de tratamiento, con base en la información primaria y secundaria recolectada y suministrada por la organización.

Actividad 1.2 Visita de campo.

Se realizarán salidas al campo, para una inspección inicial que servirá para corroborar y complementar la información obtenida en el periodo de recolección de la misma. Así mismo, se realizará un diagnóstico de las condiciones en que se encuentra operando actualmente la planta, los procesos, y sus correspondientes estructuras

Herramientas a utilizar

- Cinta métrica
- Nivel de precisión
- Vasos de precipitado 100ml
- Tanques de 500lts

En laboratorio

- Turbidímetro
- Conductímetro

5.5.2 Fase 2: Proponer alternativas de diseños para la optimización del servicio, según los requerimientos de la población y la capacidad instalada del sistema.

Actividad 2.1 Proyección de población.

Una vez recolectada toda la información sobre los procesos unitarios de la Planta de Tratamiento La Huaricha, se realiza una proyección poblacional y de esta manera determinar el caudal actual de la planta basados en la Resolución 0330 de 2017 con el fin de establecer la dotación y demanda que se requieren.

- Cálculo de la tasa de crecimiento de la población
- Determinación de la dotación neta según el nivel de complejidad del sistema.
- Asignación de Pérdidas, según la Resolución 330 del 2017
- Determinación de la dotación bruta.
- Determinación del Caudal máximo horario. (Res. 330 del 2017).

Actividad 2.2 Evaluación hidráulica.

Para conocer el funcionamiento de la PTAP es necesario conocer el funcionamiento hidráulico, por lo tanto se realizara una revisión hidráulica de cada uno de los procesos de la PTAP LA HUARICHA como son mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración

Información básica requerida para Modelación Hidráulica

Para llevar a cabo una modelación Hidráulica o hidrodinámica se requiere de la siguiente información:

- Secciones transversales completas (batimetría).
- Se requiere de información histórica de series de niveles y caudales. Se debe disponer de datos de niveles y caudales tanto en la entrada, como en la salida del trayecto a modelar que sirvan de frontera para la modelación. Si el trayecto a modelar es muy largo o hay afluentes aportantes al sistema se requeriría de otras estaciones intermedias. Es aconsejable que todas estas estaciones se encuentren geo-referenciadas sobre un mismo nivel de referencia planimétrico y altimétrico, esto es, que la cota cero de las miras se encuentre referenciadas a la red Geodésica del IGAC (MagnaSirgas)
- Contar con la cartografía más detallada posible en el trayecto que se está modelando. En el caso de zonas de inundación, donde se requiere de una modelo 2D, se necesita una cartografía que cuente con curvas de nivel por debajo a 1 m, cartografía que es originada con imágenes de LIDAR de alta resolución.
- Determinar en campo los umbrales o niveles de alerta (Amarilla, Naranja, Roja) para cada uno de los puntos de interés o las poblaciones ribereñas.

Velocidades de entrada y salida

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

$$Q = V.A \quad (3)$$

54

Actividad 2.2.1 Evaluación de coagulación y mezcla rápida.

En la evaluación de este proceso lo primero que tenemos que calcular es la dosificación del coagulante el cual lo podemos determinar mediante la teoría de Wolf - Resnick; seguido de esto procedemos a verificar las dimensiones del perfil creager con estándares de diseño haciendo énfasis en el resalto hidráulico y determinar que esté correcto.

Actividad 2.2.2 Evaluación del proceso de floculación.

Después que el agua ya paso por el proceso de coagulación y mezcla rápida, para esta evaluación es necesario determinar el caudal de entrada a la unidad y así mismo evaluar las características hidráulicas tales como gradiente de velocidad, tiempo de retención (comprendido entre 20 – 40 minutos), flujo de mezclado, tamaño del floc y zonas muertas.

Actividad 2.2.3 Evaluación del proceso de sedimentación.

Para la evaluación de proceso lo primero que debemos hacer es la determinación del caudal mediante prueba de trazadores, la determinación del gradiente de velocidad, tiempo de retención y características hidráulicas.

Actividad 2.2.4 Evaluación del proceso de filtración.

En este proceso se comenzará con la remoción de las partículas suspendidas y coloidales del agua, también se determina la eficiencia de las unidades o procesos anteriores tomando muestras de turbiedad del agua filtrada y se evaluara parámetros hidráulicos como caudal, tiempo de retención (de 10 a 15 minutos según colmatación del filtro), velocidad de lavado y caudal de lavado

Actividad 2.2.5 Verificar la calidad del afluente y efluente y analizar con base en su operación actual

La presente actividad se realizará una verificación de la calidad del afluente y el efluente para realizar el posterior análisis con base en la operación actual de la Planta.

5.5.3 Fase 3: Presentar la mejor alternativa de optimización del servicio de agua potable, acorde a su viabilidad operativas, económicas y ambientales.

Actividad 3.1 Recomendaciones.

Inmediatamente después de la revisión de todo el funcionamiento de la PTAP, se tendrá en cuenta los alcances de la norma y las aplicaciones directas en la solución del problema.

6. Resultados y discusión

6.1 Determinar las condiciones iniciales de funcionamiento y línea base, acorde con la exigencia de la población y evaluación hidráulica para el sistema de acueducto establecido por la norma (Resolución, 799/2019)

Para el desarrollo continuo del presente objetivo se desarrollan las siguientes actividades:

6.1.1 Revisión primaria y secundaria

Con base a la información recolectada se procedió a realizar visita de inspección con la finalidad de realizar una descripción general de los procesos de tratamiento de agua potable en la planta Huaricha.

6.1.1.1 Capacidad de diseño

El sistema de tratamiento de agua potable, consta de dos plantas de Tratamiento, La Gota Fría que tiene un diseño para tratar hasta 800 L/s de agua cruda y La Huaricha con una capacidad de tratamiento de 1500 L/s de agua cruda, para una capacidad total de 2300 L/s, equivalentes a 5.961.600,00 metros al mes, de las dos plantas (Santiago Jácome , 2013).

6.1.1.2 Tipo de Planta

Las plantas en mención son de tecnología convencional. Son de funcionamiento hidráulico, es decir no requieren de ningún tipo de equipo eléctrico para su operación hidráulica. Con sólo el desvío del río y el sistema de gravedad se dispone del agua del acueducto que alimentan las dos plantas, para que el agua sea sometida a todos los procesos y operaciones unitarias de potabilización de agua como son Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración, Cloración e incluso retro lavado (Santiago Jácome , 2013).

6.1.1.3 Calidad de agua a tratar

En cuanto a la calidad de agua a tratar, agua superficial, son objetables principalmente parámetros como turbidez, color, sólidos en suspensión y población microbiológica como bacterias mesófilas, coliformes totales y fecales los cuales sobrepasan los niveles máximos establecidos por las normas del Ministerio de Salud para calidad grado “agua potable” (Santiago Jácome , 2013).

6.1.1.4 Sistema de abastecimiento y tratamiento

Los procesos en el Sistema de Abastecimiento hacen referencia al proceso de preservación de las fuentes de abastecimiento, proceso de captación, transporte, tratamiento de agua cruda y distribución (Santiago Jácome , 2013).

- **Manejo de cuencas:** En cumplimiento del Artículo 43 de la Ley 99 de 19931 , el manejo de la cuenca corresponde a las acciones que, con el objeto de garantizar la sostenibilidad del recurso, debe emprender la Empresa para la recuperación, preservación y conservación de las cuencas abastecedoras de los acueductos. Debe tener en cuenta todas las leyes, decretos, reglamentos y/o normas relacionadas con la protección de fuentes de agua. En particular, debe observarse lo establecido en el artículo 57 de la Ley 9 de 1979, o su equivalente en la Ley que la reemplace, el cual establece que las entidades encargadas de la entrega de agua potable al usuario velarán por la conservación y el control en la utilización de la fuente de abastecimiento para evitar el crecimiento inadecuado de organismos, la presencia de animales y la posible contaminación por otras causas. En todos los casos la fuente debe analizarse con un criterio económico, en cuanto los cuerpos de agua pueden tener uso como materia prima (cantidad, calidad y accesibilidad) así como en la descarga de aguas residuales (Santiago Jácome , 2013).
- **Captación:** El sistema de captación en Valledupar consiste en un dique de tipo lateral, ubicada en las riberas del Río Guatapurí (caudal medio en épocas de seguía 3.5 m³ /s). El agua que se suministra a la ciudadanía es captada en el río mediante una estructura de encauzamiento conformada por un dique transversal ubicado en la cota 260 metros sobre el nivel del mar (msnm) y un muro pantalla con orificio calculado para un caudal máximo de 5.0 m³ /s localizado en la derivación del canal de conducción del agua hacia las plantas potabilizadoras. Esta estructura permite aumentar la lámina de agua en épocas de máximo estiaje y regular las crecientes en periodos de invierno fuerte. Partiendo de la estructura de derivación, el agua es conducida por un canal abierto de 2.700 m. de longitud, de los cuales 940 m están

construidos en concreto rígido y 1760 m en tierra. La sección promedia del canal es de 1.80 x 1.25 m, pendiente media del 0.34% y una capacidad de 2.8 m³ /s. Existe además un canal alterno en tierra que tiene una longitud de 1815 m el cual es utilizado como canal soporte para cuando el aéreo necesita un mantenimiento. Al finalizar el canal, el agua es entregada a una estructura de toma en la cota 250.40 msnm, que capta a través de un área de rejillas en sentido normal al flujo, el sistema de rejillas se compone de 6 módulos, con dimensiones cada uno de 1.0 x 1.4 m y separación entre platinas de 1". En esta estructura se regula el caudal mediante un juego de compuertas que vierten los sobrantes nuevamente al río Guatapurí (Santiago Jácome , 2013).

- **Aducción:** El canal de aducción en el acueducto de Valledupar inicia aguas abajo del sistema de rejillas, es un canal de concreto armado de sección rectangular de 2 m de ancho por 1 de alto en una longitud de aproximadamente 80 m. Existe un canal de aducción aéreo de 2,20 m de Ancho, 1,2 m de profundidad y 2 Kl de largo el cual se conecta nuevamente con un canal terrestre el cual conduce el agua a dos tanques para desarenación usados para remover la arena y las partículas coloidales de mayor tamaño que vienen en el agua. El agua desarenada se recolecta por unas canaletas en la parte superior dirigiéndose por una tubería de 1,2 m y 1,5 m hacia la Zona de Mezcla Rápida. Son 4 desarenadores; 2 grandes y 2 pequeños que conducen el caudal desarenado a las plantas Huaricha y Gota fría respectivamente (Santiago Jácome , 2013).

6.1.1.5 Bocatoma

La bocatoma está conformado por un sistema de válvulas y parrillas, que controlan los caudales de entrada al sistema de tratamiento y el ingreso de material de mayor tamaño respectivamente, en este proceso de pre tratamiento se encuentra ubicado un personal encargado del la manipulación de válvulas y del retiro de material, el auxiliar de bocatoma está en constante comunicación con el operador de planta, para reportarle cualquier cambio en las aguas o las anomalías que se puedan presentar en dicho proceso. El retiro del material se hace con rastrillo,

escoba y carretilla, existe en este punto un turbidímetro que transmite la señal en vivo hasta el sistema SCADA de donde se hace el monitoreo de la turbiedad (Santiago Jácome , 2013).

6.1.2 Identificar los procesos unitarios que componen la planta de tratamiento de agua potable de la cabecera municipal de Valledupar “PTAP LA HUARICHA”

6.1.2.1 Tratamiento

Las obras o componentes del sistema de potabilización en el acueducto de Valledupar para las plantas de tratamiento de agua cruda tanto para la Gota Fría como la Huaricha son los siguientes: desarenadores, unidades de mezcla rápida, floculación, filtración, desinfección, estabilización, tanque de compensación del agua tratada, dispositivos de control de las unidades de la planta e instrumentación, laboratorio, y por último, sala de dosificación y almacenamiento de los productos (Santiago Jácome , 2013)

6.1.2.2 Pretratamiento

1. **Desarenación:** En el sistema de acueducto del municipio de Valledupar, el canal de aducción lleva el agua cruda a dos desarenadores, estructuras hidráulicas de concreto de forma geométrica, con capacidad de 0.60 y 1.20 m³ /s respectivamente. En dichas estructuras se efectúa el proceso de decantación de las arenas y partículas no suspendidas con una gravedad específica mayor o igual a 2.65 g/ml que precipitan por su propio peso al fondo del desarenador de donde son evacuadas mediante operaciones de lavado (Santiago Jácome , 2013)
2. **Coagulación y Mezcla Rápida:** Los procesos que deben llevarse a cabo en esta etapa del tratamiento del agua potable son la dosificación y la mezcla rápida, lo cual se hace mediante el Ensayo de Jarras que corresponde a las simulaciones en el laboratorio de las operaciones de coagulación, floculación, decantación que se realizan en las plantas de tratamiento y purificación de agua, el cual permite identificar el grado de turbiedad, este método ha sido estandarizado para facilitar la convalidación de los resultado. En el sistema de acueducto de EMDUPAR, la dosificación de químicos para coagulación se realiza de manera automática, la

adición y mezcla rápida del coagulante, se realiza en un resalto hidráulico, aguas abajo del vertedero tipo Perfil de Creager (Santiago Jácome , 2013).

3. **Coagulación con sulfato de Aluminio liquido TIPO B:** En la planta de la empresa de Emdupar S.A E.S.P permite el ahorro de producto, ya que este viene en forma líquida y no hay que disolvernos en agua, así se evita que los coagulantes en algunas oportunidades no alcanzarían a disolverse y deterioraría notablemente el proceso de mezcla, induciendo un serio desperdicio de dicho material, que es el que representa el mayor costo en sustancias químicas para la planta (Santiago Jácome , 2013)
4. **Coagulación con el Policloruro De Aluminio:** Llamado PAC presenta una muy buena alternativa para reemplazar el sulfato cuando las turbiedades superan los 100 NTU ya que reacciona directamente con la alcalinidad por consiguiente el consumo de la cal es menor o nulo (Santiago Jácome , 2013)
5. **Floculación:** En el sistema de acueducto de EMDUPAR, la floculación se realiza en dos módulos floculadores tipo Alabama con 15 y 12 compartimientos respectivamente; a través de un canal abierto se distribuye el agua desde el punto de dosificación de químicos hasta cada compartimiento de los tanques floculadores (Santiago Jácome , 2013).
6. **Sedimentación:** El tipo de estructura usada en la planta de Emdupar S.A E.S.P es de Sedimentador laminar de flujo ascendente. En este proceso es donde se sedimentan los flóculos formados en la zona de floculadores. En la parte inferior del sedimentador se presenta una zona de distribución de agua, existiendo en la parte media, módulos inclinados con un ángulo de 45 grados. El agua se recolecta en la parte superior. En la Gota fría existen 8 módulos de sedimentación, como en la Huaricha, pero más grandes (Santiago Jácome , 2013).
7. **Filtración:** En el sistema de acueducto de EMDUPAR, la filtración se lleva a cabo en 10 tanques filtros en la planta HUARICHA y 6 en la planta GOTA FRIA, el agua atraviesa el lecho filtrante de arriba hacia abajo permeando un falso fondo e

inundando la cámara de agua filtrada para ser conducido hacia el tanque de compensación donde el agua es clorada. Para el lavado del lecho filtrante, se hace circular el agua de abajo hacia arriba de 10 a 15 minutos según la colmatación del filtro de esta forma se remueven partículas y coloidales en el filtro. Los filtros son construidos en Carbón Activado, Antracita, Arena Industrial y Gravilla (Santiago Jácome , 2013).

8. **Desinfección:** En el sistema de acueducto de EMDUPAR, la desinfección se realiza mediante la aplicación al agua tratada de cloro gaseoso. El proceso de cloración se realiza en el tanque de “Aguas de Compensación”, el cual recibe el agua proveniente de los módulos de filtración (Santiago Jácome , 2013).
9. **Sistema de Conducción y Distribución:** Debido a la topografía del municipio (pendiente promedio 2%) y a la ubicación de la bocatoma y planta de tratamiento en la zona de mayor altura de éste (260 msnm), la conducción y distribución del agua se lleva a cabo por gravedad, no se utilizan equipos de impulsión. El municipio de Valledupar se encuentra sectorizado en cinco distritos, cada uno es abastecido por una línea de conducción, el Distrito Norte, Distrito Sur, el Distrito Medio el distrito nevado y el distrito sancocho los cuales se encuentran macro medidos por un sistema SCADA en línea. El agua se suministra a la red de manera directa en el Distrito Norte, en los otros dos distritos, el agua es suministrada a través de dos tanques de compensación, el Tanque La Popa en el Distrito Sur y el Tanque la Pedregosa en el Distrito Medio. El tanque de Aguas de Compensación de la planta tiene una capacidad de 2.000 m³ , el Tanque La Popa (Distrito Sur) tiene una capacidad de 5.000 m³ , y el Tanque La Pedregosa (Distrito Medio) tiene una capacidad de 6.000 m³ . Los tanques de compensación tienen la función de compensar las variaciones entre el caudal de entrada y el consumo a lo largo día en el sector de influencia, además de homogenizar el cloro aplicado para la desinfección de las aguas El consumo de los usuarios y el control de pérdidas técnicas, mediante el conocimiento preciso de la red (catastro de la red),

macromedición, identificación de fugas con tecnología, reparación y reposición de redes, control de la presión de servicio y control del agua distribuida mediante el establecimiento de sectores de consumo debidamente controlados (Santiago Jácome , 2013)

6.1.3 Visita de campo.

Se realizaron salidas en campo para una inspección inicial que sirvió como base para corroborar y complementar la información que se obtuvo en el periodo propuesto para la realización de la misma. Así mismo se realizó un diagnóstico de las condiciones actuales en que se encuentra operando actualmente la Planta, los procesos unitarios y sus correspondientes estructuras.

Las herramientas utilizadas sirvieron para realizar dicho diagnóstico en laboratorio por medio del turbidímetro y el conductímetro, los cuales se pueden evidenciar en los resultados obtenidos en la evaluación hidráulica realizada, en el siguiente objetivo, propuesto.

6.1.4 Proyección de población.

Una vez que fue recolectada la información sobre los procesos unitarios de la Planta de tratamiento La Huaricha, se realizó una proyección poblacional, la cual permitió determinar el caudal actual de la Planta basándonos en la Resolución 0330 del 2017, estableciendo así la dotación y demanda que se requieren.

- Cálculo de la tasa de crecimiento de la población

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{1/(T_{uc}-T_{ci})} - 1 \quad (4)$$

Dónde,

r = Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

Con base a los datos de la crecimiento y proyección de población hechos por el DANE, se procedió a realizar el cálculo de las tasas de crecimiento demográficos para los métodos anteriormente expuestos. En la siguiente tabla se presentan los valores para cada uno de los periodos correspondientes:

Tabla 2.

Tasas de crecimiento acorde a los métodos de estimación poblacional

Año	Reta de Crecimiento Aritmético	Reta de Crecimiento Geométrico	Reta de Crecimiento Exponencial
2022	10000	4,60%	4,60%
2023	8500	3,60%	3,60%
2024	8500	3,60%	3,60%
2025	8500	3,60%	3,60%
2026	8500	3,60%	3,60%
2027	8500	3,60%	3,60%
2028	7000	1,57%	1,57%
2029	7000	1,57%	1,57%
2030	7000	1,57%	1,57%
2031	7000	1,57%	1,57%
2032	7000	1,57%	1,57%
2033	6000	1,38%	1,38%
2034	6000	1,38%	1,38%
2035	6000	1,38%	1,38%
2036	6000	1,38%	1,38%
2037	6000	1,38%	1,38%
2038	5500	1,28%	1,28%

2039	5500	1,28%	1,28%
2040	5500	1,28%	1,28%
2041	5500	1,28%	1,28%
2042	5500	1,28%	1,28%
2043	5000	1,20%	1,20%
2044	5000	1,20%	1,20%
2045	5000	1,20%	1,20%
2046	5000	1,20%	1,20%
2047	5000	1,20%	1,20%

Fuente: Elaborado a partir del DANE, 2020

Considerando para su elaboración los siguientes puntos:

- ✓ Con base en las proyecciones del DANE, se considera un crecimiento geométrico entre un 4,60% y un 1,2%
- ✓ Con base en las proyecciones del DANE, se considera un crecimiento exponencial entre un 4,60% y un 1,2%
- ✓ Con base en las proyecciones del DANE, se considera un crecimiento aritmético entre 10000 habitantes y 5000 al cabo de 25 años, decreciente cada cinco años
- Determinación de la dotación neta según el nivel de complejidad del sistema.

$$D_{bruta} = d_{neta} / (1 - \%p)$$

$$D_{bruta} = d_{neta} / (1 - \%p)$$

(5)

Donde:

Dbruta = dotación bruta

Dneta= dotación neta

$d_{neta} = (1 - \%p) / D_{bruta}$

%p: pérdidas técnicas máximas admisibles

Según la resolución 0330 del 2017

En el artículo 67 la dotación neta calculada se clasifica según el clima frío o templado a continuación se muestra los valores de la dotación neta máxima dependiendo del nivel de complejidad del sistema.

Considerando la tabla anterior, se estima que la dotación neta máxima para el municipio en un nivel de complejidad medio es de 140 L/hab.día.

- Asignación de Pérdidas, según la Resolución 0330 del 2017

La asignación de pérdidas según la resolución 2320 del 2009, la cual no debe exceder el 25%, el porcentaje asignado es del 20%

- Determinación de la dotación bruta.

$$D_{bruta} = d_{neta}/(1 - \%p)$$

(6)

$$D_{bruta} = \frac{140L}{hab} \cdot día/(1 - 20\%)$$

$$D_{bruta} = 175 \frac{L}{hab} \cdot dí$$

- Determinación del Caudal máximo horario. (Res. 330 del 2017).

El caudal máximo diario es la base para establecer el caudal de diseño.

Acorde al literal 2.8.3.3., del Título B “Sistema de Acueducto” del RAS, el caudal máximo horario está dado por la siguiente formulación:

$$QMH = k_2 \times QMD$$

(7)

Dónde,

QMH : Caudal Máximo Horario (L/s).

K₂ : Valor máximo 1.5. (Obtenido acorde al parágrafo 2 el artículo 47 de la resolución 0330 de 2017).

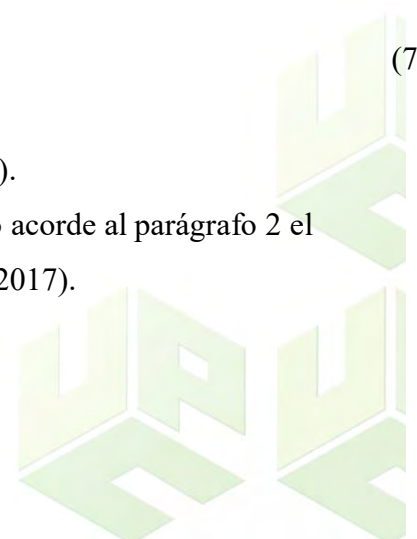
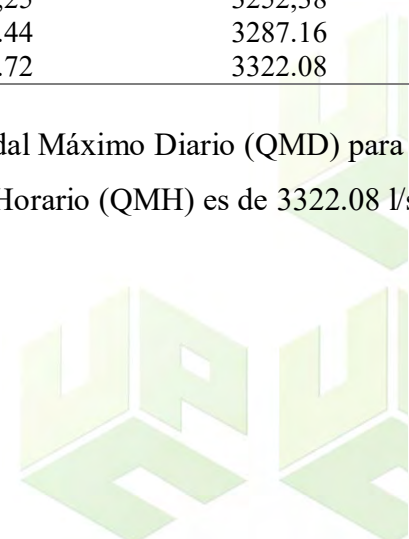


Tabla 3.

Proyección de caudales medios y diarios

Año	Población Final (habitantes)	Demanda media Diaria – Qmd (L/s)	Demanda Máxima Diaria (QMD)	Demanda Máxima Horaria (QMH)
2022	497461	2574,95	3089,94	4634,91
2023	512624	2076,60	2491,92	3737,88
2024	528235	2139,84	2567,81	3851,72
2025	544311	2204,96	2645,95	3968,93
2026	560867	2272,03	2726,44	4089,66
2027	577923	2341,12	2809,35	4214,02
2028	586650	1952,11	2342,53	3513,79
2029	595479	1981,48	2377,78	3566,67
2030	604410	2011,20	2413,44	3620,16
2031	613445	2041,27	2449,52	3674,28
2032	622586	2071,68	2486,02	3729,03
2033	630661	1780,59	2136,71	3205,06
2034	638820	1803,63	2164,35	3246,53
2035	647064	1826,90	2192,28	3288,42
2036	655395	1850,42	2220,51	3330,76
2037	663813	1874,19	2249,03	3373,54
2038	671681	1762,85	2115,43	3173,14
2039	679626	1783,71	2140,45	3210,67
2040	687649	1804,77	2165,72	3248,58
2041	695753	1826,03	2191,24	3286,86
2042	703936	1748,98	2098,77	3148,16
2043	711631	1768,10	2121,72	3182,57
2044	719399	1787,40	2144,88	3217,31
2045	727241	1806,88	2168,25	3252,38
2046	735083	1826,38	2191,44	3287,16
2047	741726	1864,98	2214,72	3322,08

De acuerdo a la tabla anterior se puede decir que el Caudal Máximo Diario (QMD) para el año de diseño (2047) es de 2214.72 l/s y el Caudal Máximo Horario (QMH) es de 3322.08 l/s.



6.1.4 Evaluación hidráulica

6.1.4.1 Análisis de flujo mediante ensayo de trazadores

Para conocer el funcionamiento de la PTAP es necesario conocer el funcionamiento hidráulico, por lo tanto, se realizó una revisión hidráulica de cada uno de los procesos de la PTAP LA HUARICHA como son mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración.

Para esto se procedió a implementar el método de Wolf – Resnick, que a continuación se describe:

El método de Wolf Resnick consiste en ajustar una recta tangente a lo largo de la recta componente de la curva, la pendiente de esta recta es la \tan , y su intersección con el valor de 1.0 en las ordenadas permite calcular el valor de θ .

El modelo matemático se puede usar para calcular el porcentaje de fluencia del pistón (P), la mezcla completa (M) y las zonas muertas (m) que ocurren durante la operación típica del reactor usando parámetros como θ y \tan . Flujo de pistón, que podemos definir como "aquel que existe cuando las láminas lidas de espesor (dl) que entran al reactor se desplazan paralelas a las y perpendicularmente en el sentido del flujo, cesa mezclarse; por contraposición, el flujo totalmente mezclado es idéntica al de toda la masa líquida. Las sumatorias de los porcentajes del tipo de flujo deben ser siempre iguales a la unidad, lo que simplifica el modelo en dos partes: cuando hay zonas muertas y cuando no las hay. Si se supone que no hay zonas muertas, entonces el porcentaje de flujo de pistón más el porcentaje de flujo sin pistón debe ser igual a la unidad.

Al aplicar los modelos de Wolf Resnick y Curva de Tendencia se obtuvieron los siguientes resultados:

6.1.4.2 Selección del trazador

Gracias a la naturaleza tecnológica del procedimiento el tipo de dosificación de trazador ha sido rápida, seleccionando el Cloruro de Sodio (NaCl) o sal casera o de cocina, por su facilidad de obtener y por representar bajos precios comparativamente con otros tipos de trazadores.

6.1.4.3 Determinación de los factores muestrales

Para proseguir con el siguiente paso es necesario considerar el volumen de las unidades para determinar la cantidad de trazador. A continuación, en la tabla 5 se presenta el volumen de las unidades de estudio y la sumatoria de ellas.

Tabla 4.

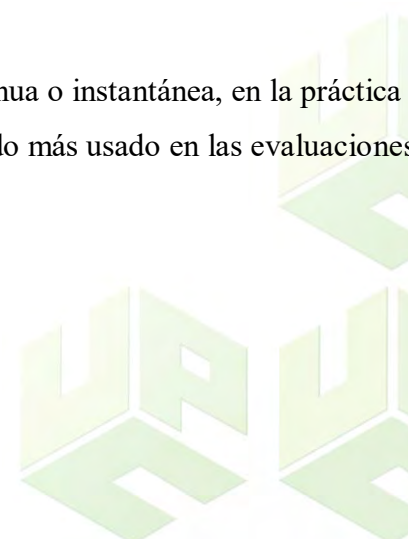
Volumen de las unidades de tratamiento

	Unidades	Volumen	Volumen total
Mezcla rápida	1	33,95	33,95
Canal de admisión	1	43,34	43,34
Floculadores	8	32,82	262,56
Sedimentadores	8	391,75	3134
			3473,85

La determinación de los trazadores se realizó de la siguiente manera:

Para visualizar el funcionamiento de una unidad desde el punto de vista hidráulico, es conveniente utilizar una sustancia trazadora (sal, colorantes, ácidos o una sustancia radiactiva) que pueda ser aplicada en la entrada de la unidad, y que simultáneamente se comience a registrar la concentración del trazador a la salida de la unidad.

La aplicación del trazador puede hacerse en forma continua o instantánea, en la práctica en un intervalo de tiempo (Δt_0). Este último resulta ser el método más usado en las evaluaciones de plantas, y fue el que se utilizó



6.1.4.4 Cálculo de la cantidad de trazador

Para la determinación de la cantidad de trazador se empleó la siguiente formulación:

$$P = \frac{V * K * Co}{I \times 10^3} \quad (8)$$

Dónde,

P : Peso del trazador por añadir (kg)

V : Volumen útil del reactor (m³)

K : Constante de corrección del Trazador

Co : Concentración de la Sal (mg/L)

I : Grado de pureza del trazador, fracción de la unidad

La constante de corrección del trazador se calcula de esta forma:

$$K = \frac{\text{Peso de NaCl}}{\text{Peso de Cl}} = 1,65 \quad (9)$$

Por lo tanto, al aplicar la formulación se obtiene el peso del trazador por añadir a las unidades: canal de admisión, Floculadores y Sedimentadores.

Cálculo de cantidad de trazador:

$$P = \frac{3473,85m^3 * 1,65 * 30 \text{ mg/L}}{0,95 * 10^3}$$
$$P = 181,005 \text{ kg Na Cl}$$

Cantidad de trazador, sedimentadores:

$$P = \frac{3134 \text{ m}^3 * 1,65 * 30 \text{ mg/L}}{0,95 * 10^3}$$

$$P = 163,30 \text{ kg Na Cl}$$

Cantidad de trazador, floculadores

$$P = \frac{305,9 \text{ m}^3 * 1,65 * 30 \text{ mg/L}}{0,95 * 10^3}$$

$$P = 15,939 \text{ kg Na Cl}$$

Para cálculo de cantidades de trazadores, se tomó en cuenta la constante de corrección del trazador se calcula de esta forma:

$$K = \frac{\text{Peso de NaCl}}{\text{Peso de Cl}} = 1,65$$

Para mezcla rápida:

$$P = \frac{33,95 * 1,65 * 30 \text{ mg/L}}{0,95 * 10^3}$$

$$P = 1,77 \text{ kg Na Cl}$$

Para calcular el volumen unitario y total, de mezcla rápida, tenemos la siguiente ecuación, la cual es el volumen de unidad que da un valor de 33,95 m³:

$$\text{Volumen}_{uni} = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{profundidad}$$

(10)

$$\text{Volumen}_{uni} = (1,25 \text{ m}) * (5,60 \text{ m}) * (4,85 \text{ m})$$

$$\text{Volumen}_{uni} = 33,95 \text{ m}^3$$

Como solo hay una unidad de mezcla rápida, el volumen total sería igual al volumen unitario.

$$Volumen_{total} = Volumen_{uni} \quad (11)$$

$$Volumen_{total} = 33,95 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen de unitario y total de sedimentadores tenemos la siguiente ecuación:

$$Volumen_{uni} = largo * ancho * profundidad$$

$$Volumen_{uni} = (19,5 \text{ m}) * (4,90 \text{ m}) * (4,10)$$

$$Volumen_{uni} = 391,75 \text{ m}^3$$

Para el volumen total se multiplica el valor del volumen unitario, por la cantidad de sedimentadores, en este caso 8 sedimentadores:

$$Volumen_{total} = (391,75) * (8)$$

$$Volumen_{total} = 3134 \text{ m}^3$$

6.1.5 Evaluación de coagulación y mezcla rápida

En la evaluación de este proceso lo primero que se realizó fue calcular la dosificación del coagulante el cual se determinó mediante el ensayo de la prueba de jarras; seguido de esto se procedió a verificar las dimensiones del perfil creager con estándares de diseño haciendo énfasis en el resalto hidráulico y se determinó de esta manera que esté correcto.

6.1.5.1 Mezcla rápida

El volumen de la unidad es de $77,29 \text{ m}^3$, para el caudal de 1502 L/s. Con esto se obtuvo un resultado TRH Teórico de 0,86 segundos. Al implementar el método se alcanzó el tiempo medio (50%) a los 37,66 segundos y el pico calculado a los 1 segundos el cual es el tiempo de retención para el caudal de operación de esta unidad, así mismo se puede decir que en esta unidad predomina en un 91% el flujo mezclado.

Los resultados corroboran que la mezcla rápida es idónea.

6.1.6 Evaluación del proceso de floculación

Después que el agua ya paso por el proceso de coagulación y mezcla rápida, para esta evaluación se hizo necesario determinar el caudal de entrada a la unidad y así mismo se evaluó las características hidráulicas tales como gradiente de velocidad, tiempo de retención (comprendido entre 20 – 40 minutos), flujo de mezclado, tamaño del floc y zonas muertas.

A continuación, se presentan los principales hallazgos:

6.1.6.1 Floculadores

Para el **floculador 1**:

Figura 13.

Condición de Flujo, Floculador 1

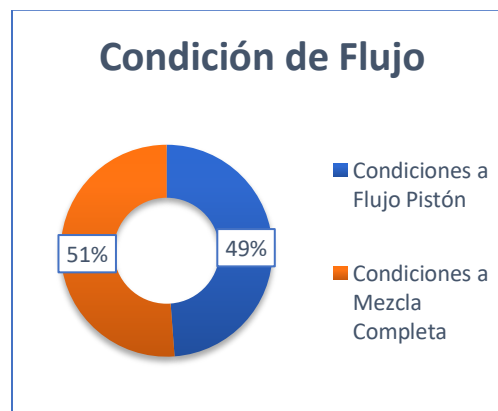
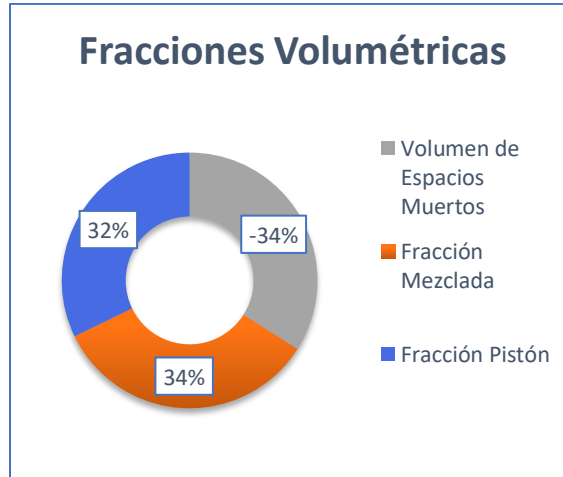


Figura 14.

Fracciones Volumétricas, Floculador 1



Para el **floculador 2**

Figura 15.

Condición de Flujo, floculador 2

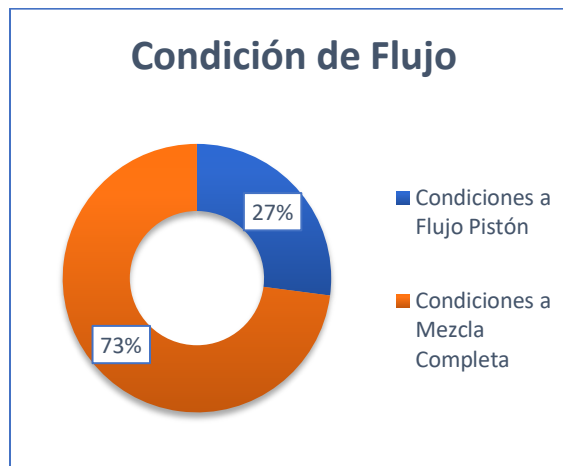
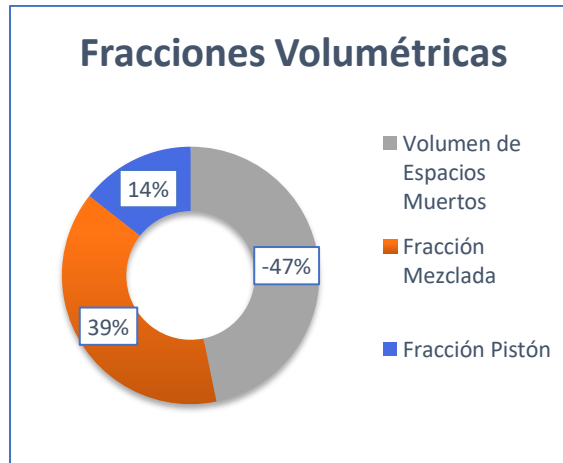


Figura 16.

Fracciones volumétricas, Floculador 2



Para el **floculador 3**:

Figura 17.

Condición de flujo, Floculador 3

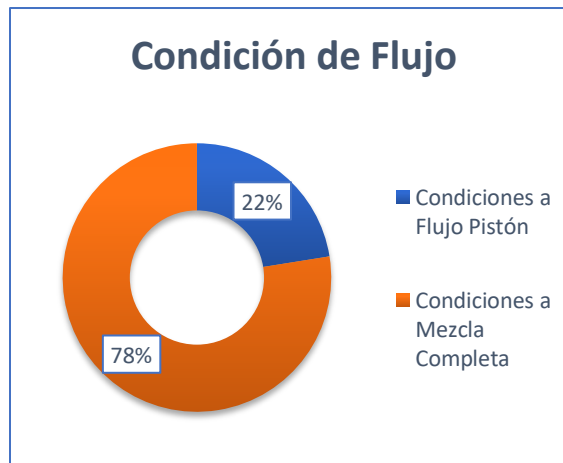
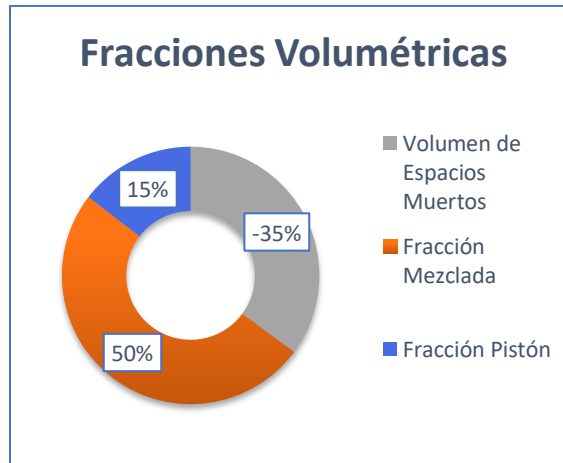


Figura 18.

Fracciones volumétricas, Floculador 3



Para el **floculador 4:**

Figura 19.

Condición de flujo, Floculador 4

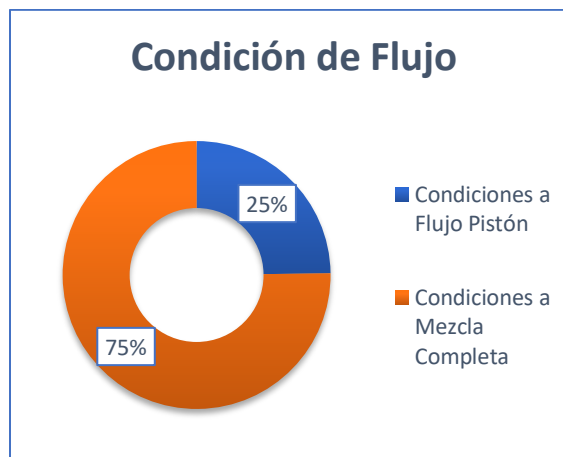
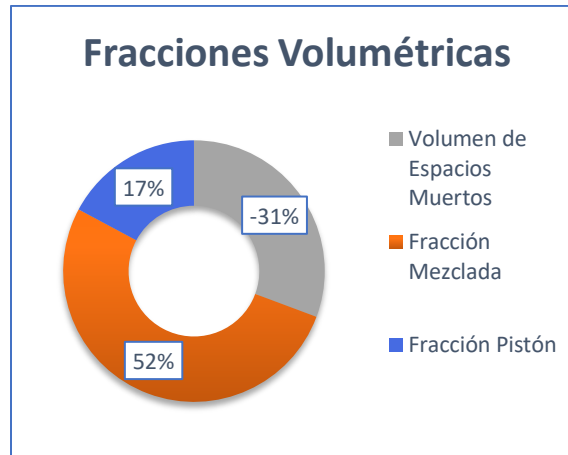


Figura 20.

Fracciones volumétricas, Floculador 4



Para el **floculador 5**

Figura 21.

Condición de flujo, Floculador 5

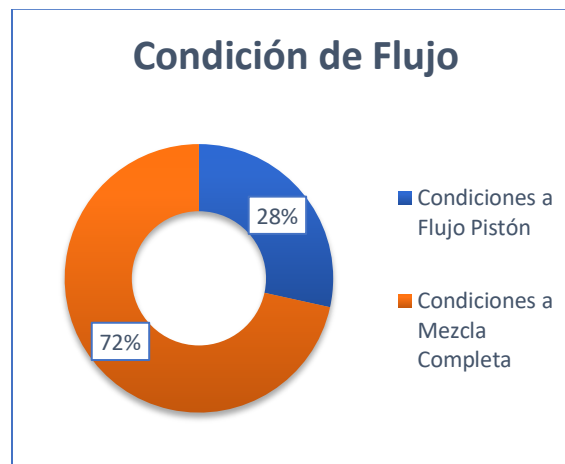
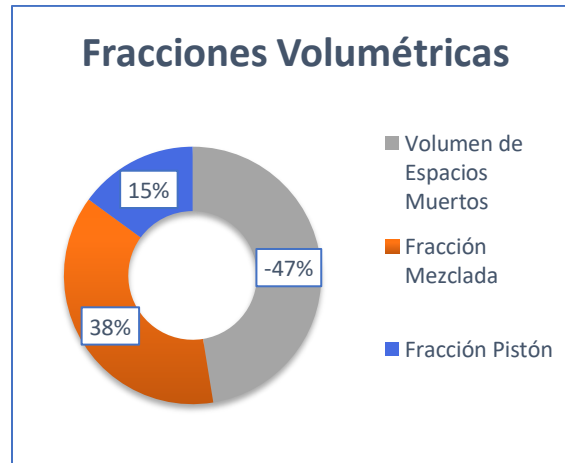


Figura 22.

Fracciones volumétricas floculador 5



Para el **floculador 6:**

Figura 23.

Condición de Flujo, Floculador 6

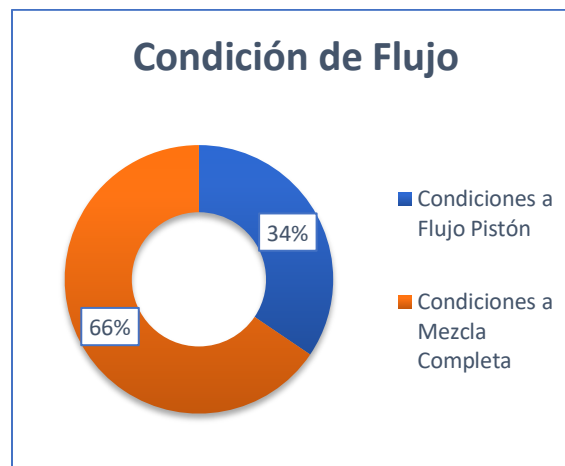
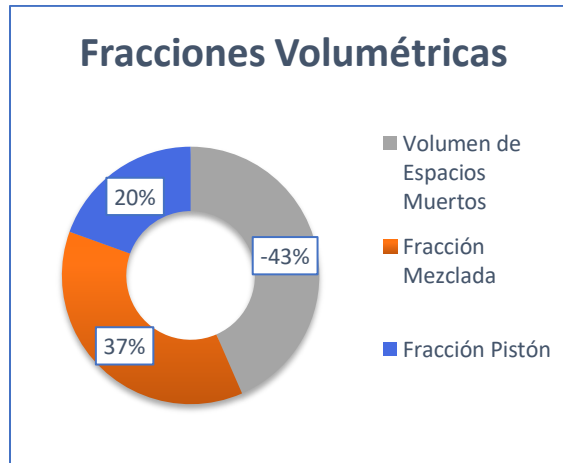


Figura 24.

Fracciones Volumétricas, Floculador 6



Para el **floculador 7**:

Figura 25.

Condición de Flujo, Floculador 7

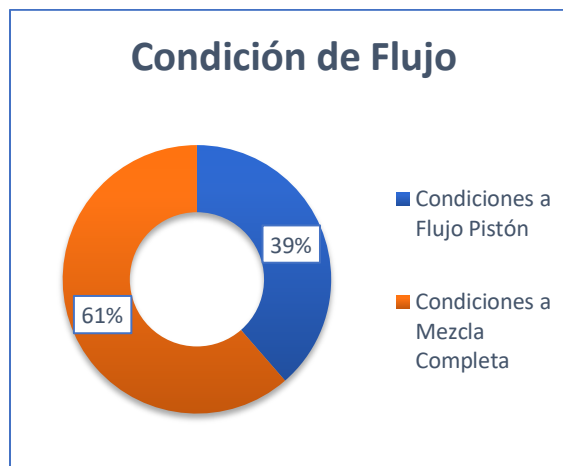
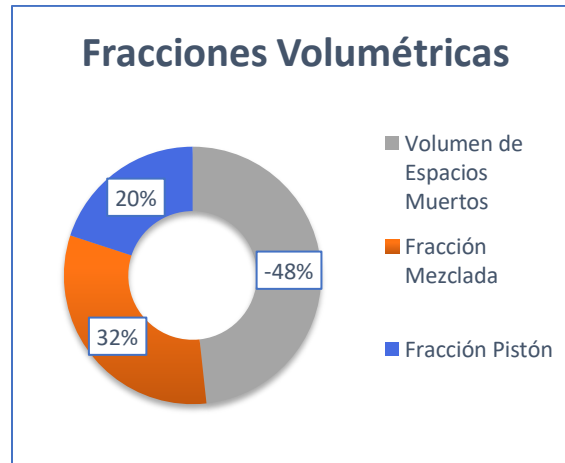


Figura 26.

Fracciones Volumétricas, floculador 7



Para el **floculador 8:**

Figura 27.

Condición de Flujo, Floculador 8

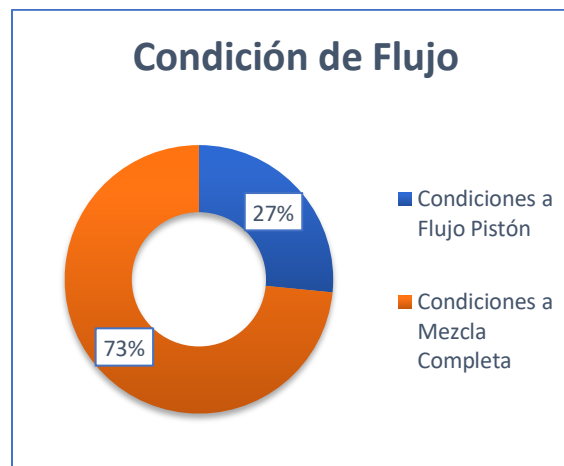
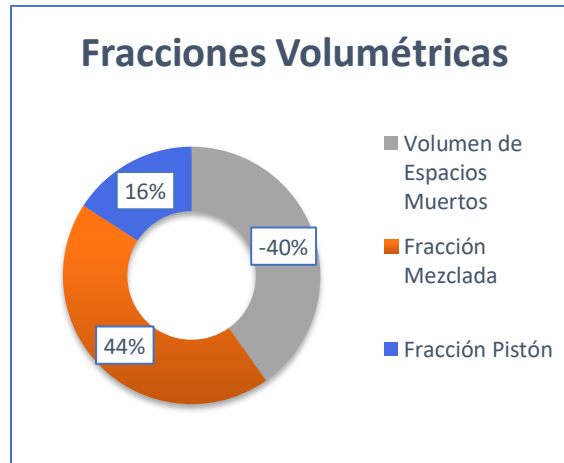


Figura 28.

Fracciones Volumétricas, Floculador 8



De acuerdo a las condiciones de flujo y fracciones volumétricas por cada floculador, se evidencia que las condiciones de estos en su mayoría de mezcla rápida son similares y en el volumen de espacios muertos les resta más volumen a las líneas de flujo pistón que al flujo mezclado

Eficiencia volumétrica (Floculadores)

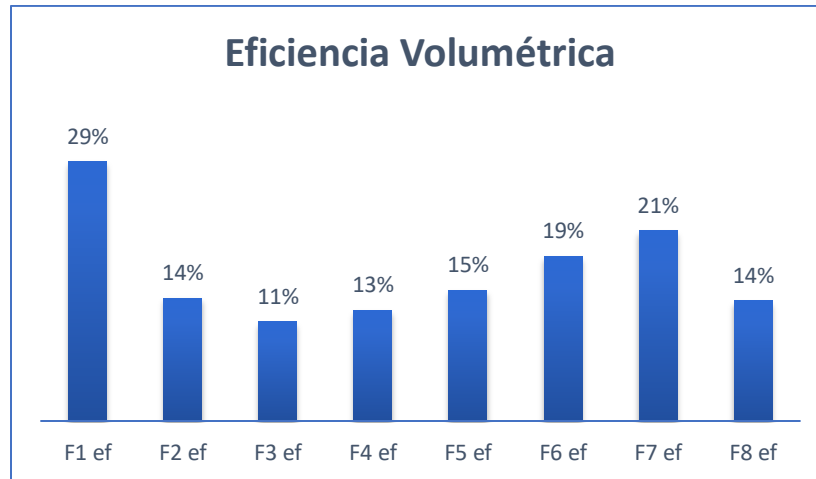
Se obtiene mediante la inversa del Índice de Dispersión de Morrill (IDM) porcentual (Pascal Suarez & Rodríguez Miranda, 2016):

$$\text{Eficiencia Volumétrica} = \left(\frac{1}{\text{IDM}} \right) \times 100 \quad (12)$$

En la siguiente tabla se presentan los datos para graficar el diagrama de barras se presenta la Eficiencia Volumétrica de los Floculadores en la tabla 78 y la Figura 58:

Figura 29.

Eficiencia Volumétrica

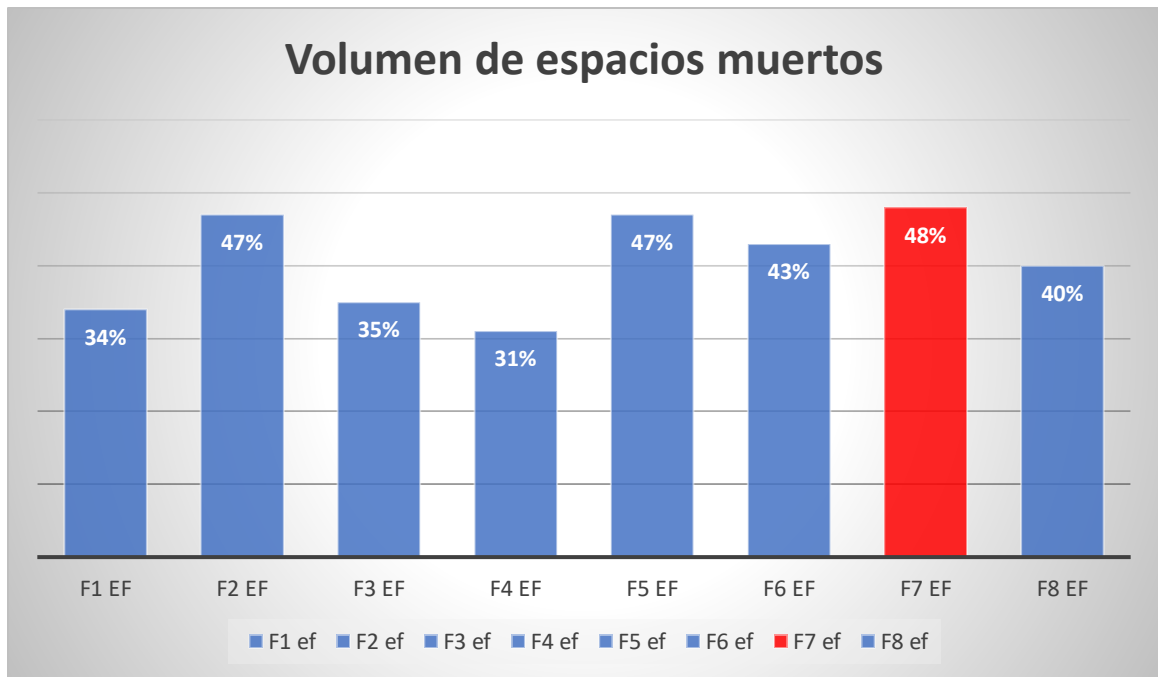


Como se logra evidenciar en la Figura 29, La eficiencia volumétrica en los floculadores la que mayor prevalece entre los 8 es el floculador 1 con un 29% de eficiencia seguidamente del Floculador 7 con un 21 y el Floculador 6 en un porcentaje del 19%, quedando los floculadores 2 y 8 con un porcentaje igual, quedando de último lugar en el porcentaje hallado el Floculador 3 con un porcentaje de eficiencia del 11% lo que significa que el Floculador con menor porcentaje de 11%, presenta mayor deficiencia en promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que la suspensión de agua y flóculos salgan de la unidad.

Figura 30.

Volumen de espacios muertos





Como se logra evidenciar en la figura 30, es de resaltar que el caso particular es del floculador 7, el cual es quien ocupa más volumen de espacios muertos, seguidamente del floculador 2 y 5.

6.1.7 Evaluación del proceso de sedimentación

Para la evaluación de proceso lo primero que debemos hacer es la determinación del caudal mediante prueba de trazadores, la determinación del gradiente de velocidad, tiempo de retención y características hidráulicas.

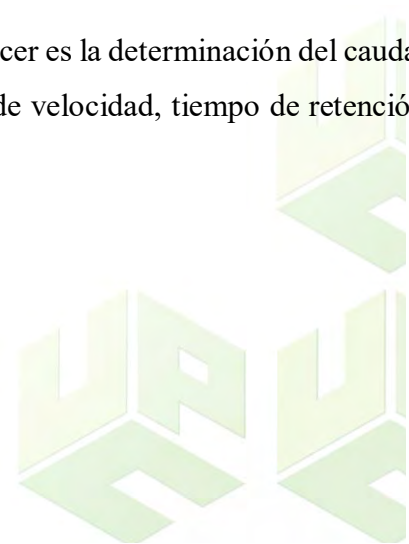
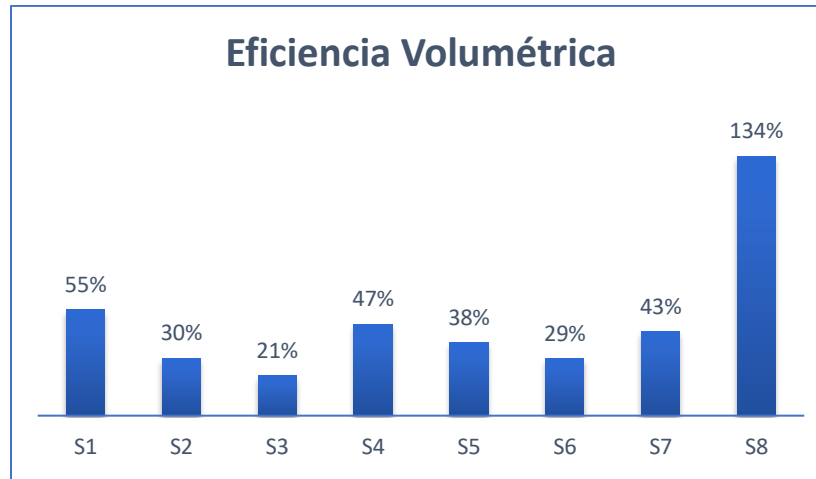


Figura 31.

Eficiencia Volumétrica, Sedimentadores



Según la Figura 31, con respecto a los resultados obtenidos en la eficiencia volumétrica de los sedimentadores es de tener en cuenta que la eficiencia de un sedimentador debe ser como mínimo 85 % en la separación de sólidos sedimentables, en base a esta afirmación sugerida por los autores (Guerrero Vejarano, Salazar Álvarez, & Paredes Salazar, 2018), se tiene que el sedimentador con mayor eficiencia volumétrica en el Sedimentado 8 con un 134% el cual presenta mayor eficiencia volumétrica en la separación de sólidos sedimentables, a diferencia de los demás flocladores quienes se encuentran por debajo del 85%, lo cual significa que están teniendo problemas en la remoción de la turbidez del fluido y en la calidad del agua obtenida, lo que significa que no está siendo adecuada la selección del coagulante y una eficiente dosificación del mismo.

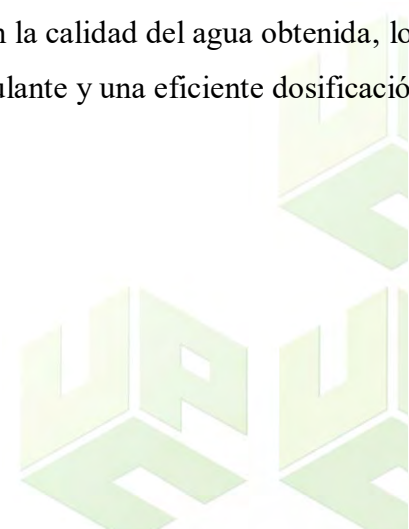


Figura 32.

Condición del Flujo, Sedimentador 1

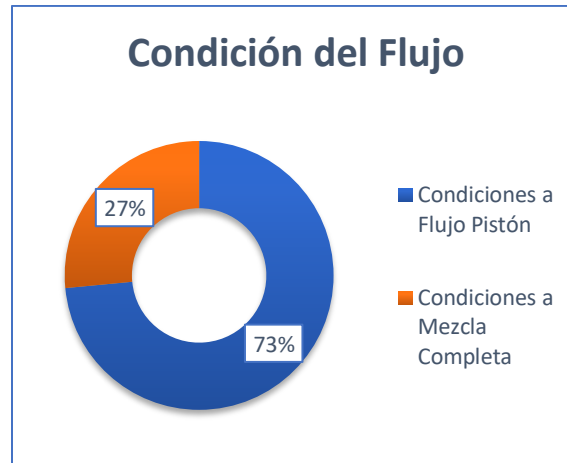


Figura 33.

Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas, Sedimentador 1

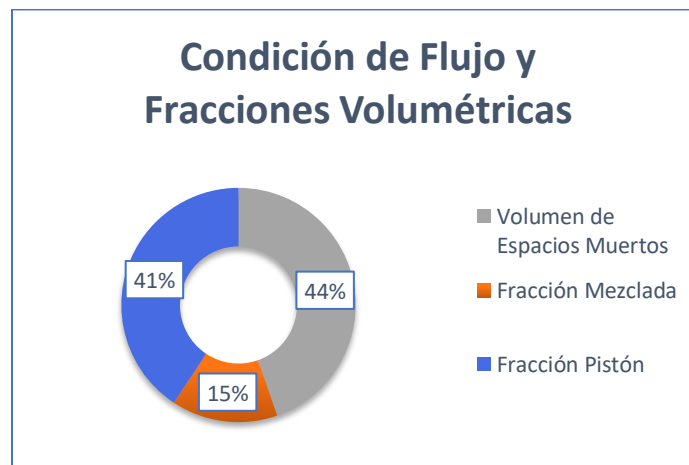


Figura 34.

Condición del Flujo, Sedimentador 2

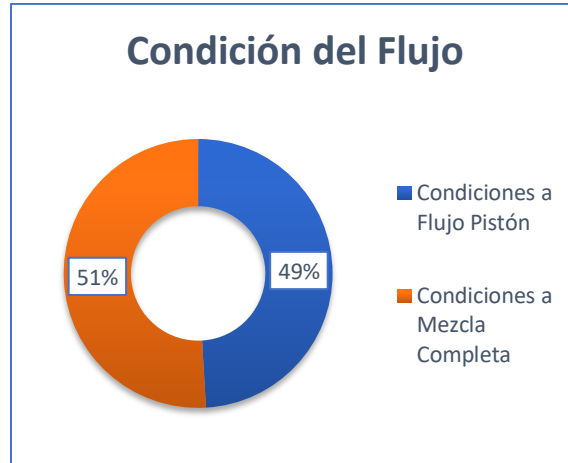


Figura 35.

Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas, Sedimentador 2

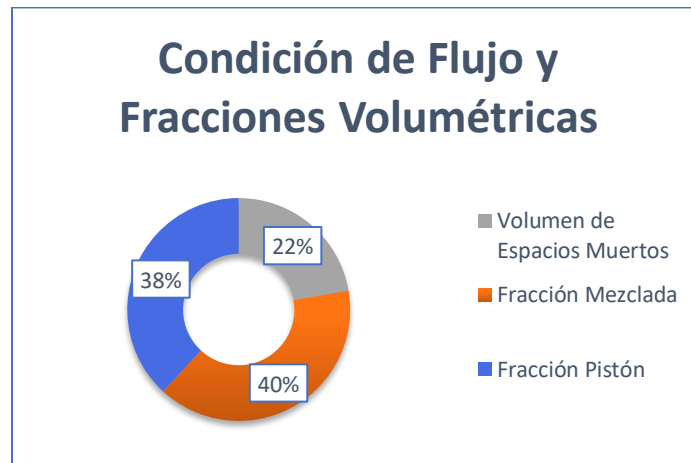


Figura 36.

Condición del Flujo, Sedimentador 3

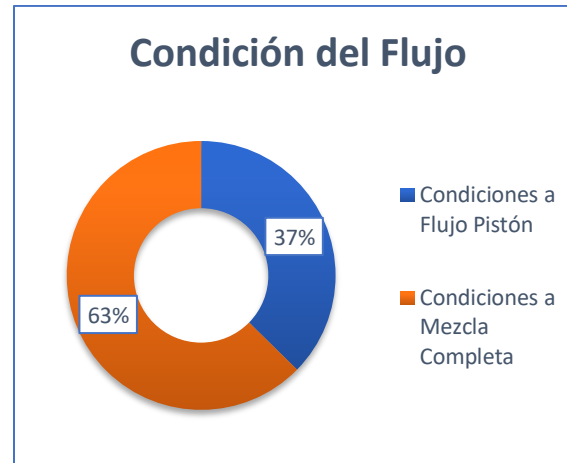
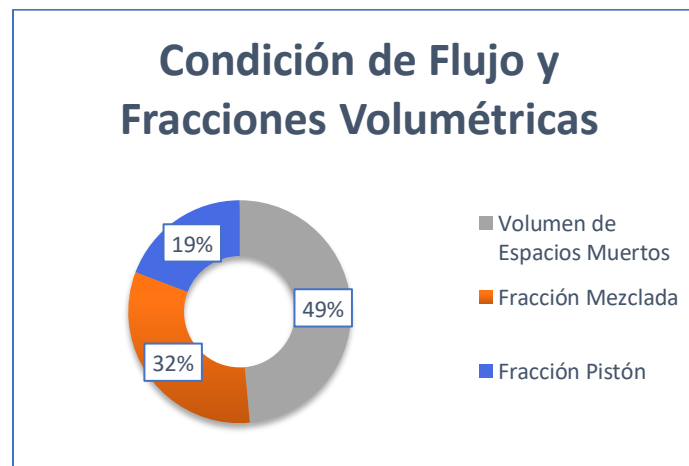


Figura 37.

Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas, Floculador 3



Condición del Flujo, Sedimentador 4

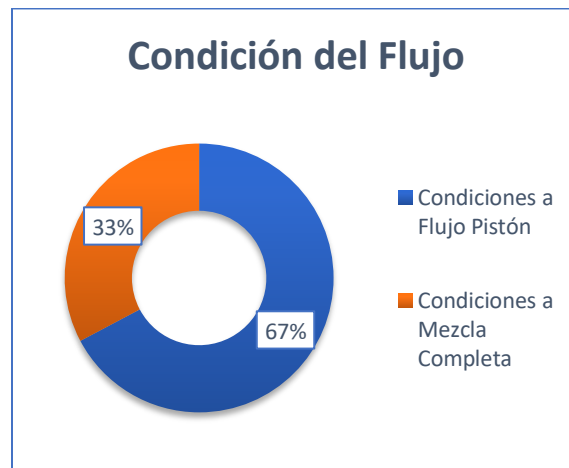


Figura 38.

Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas, Sedimentador 4

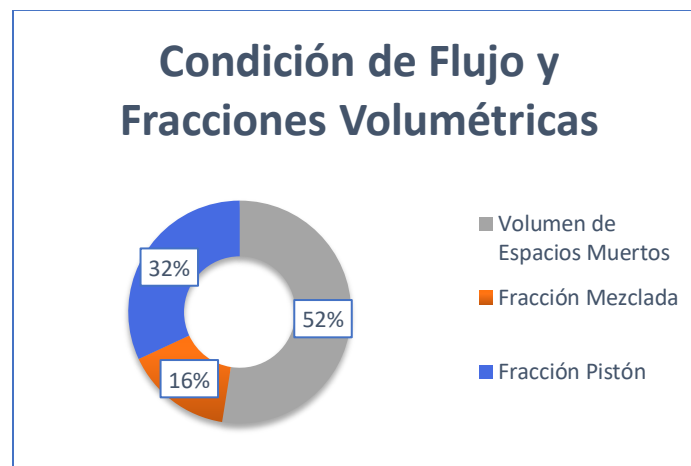


Figura 39.

Condición del Flujo, Sedimentador 5.

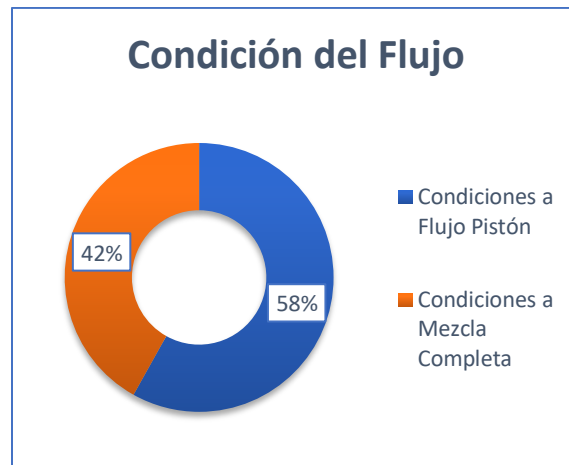


Figura 40.

Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas, Sedimentador 5.

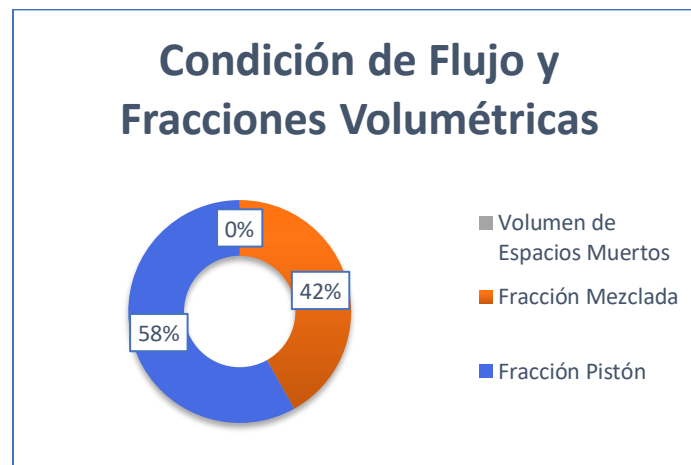


Figura 41.

Condición del Flujo, Sedimentador 6

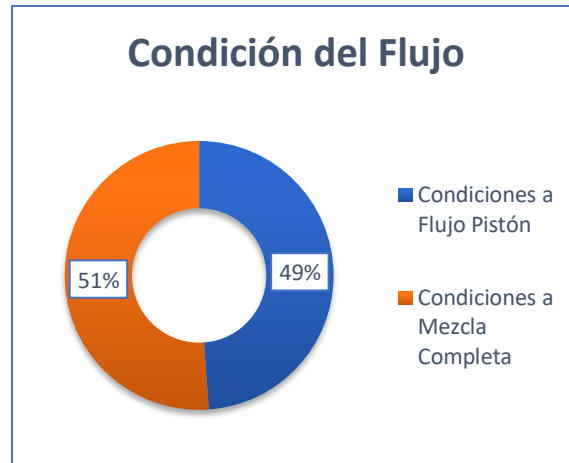
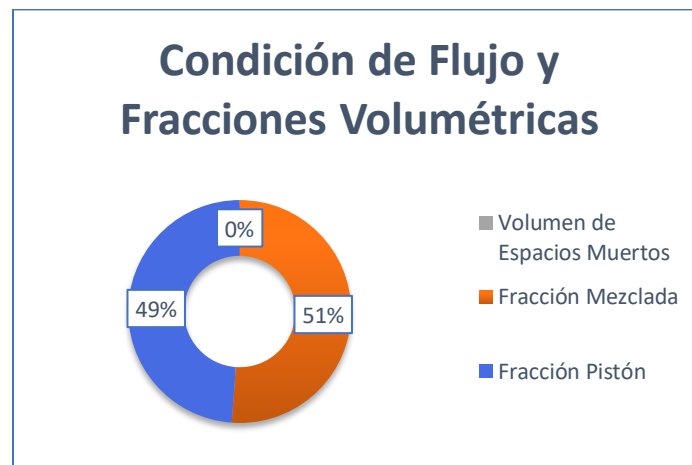


Figura 42.

Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas sedimentador 6



Condición del Flujo, Sedimentador 7.

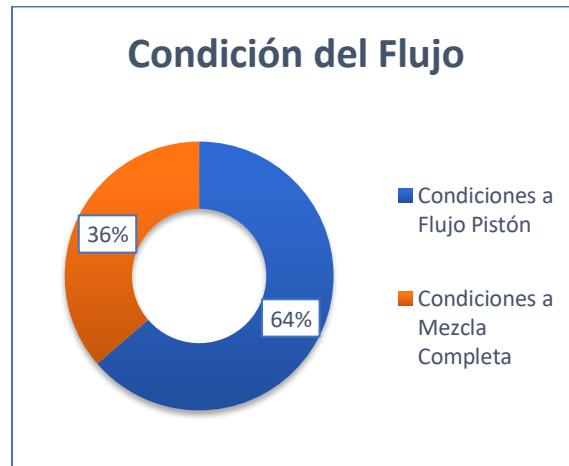


Figura 43.

Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas, Sedimentador 7.

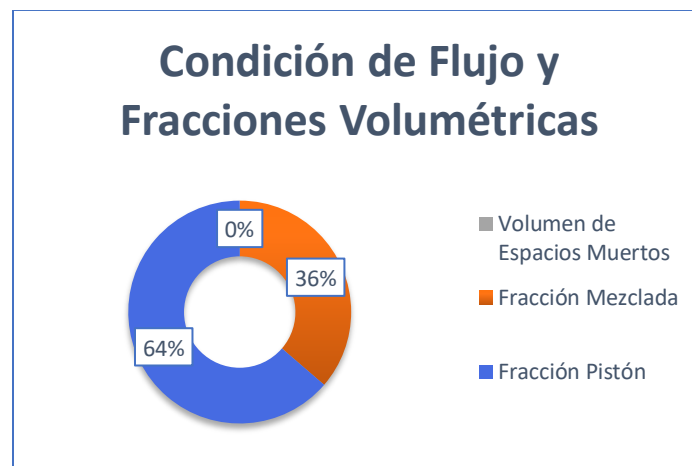


Figura 44.

Condición del Flujo, Sedimentador 8

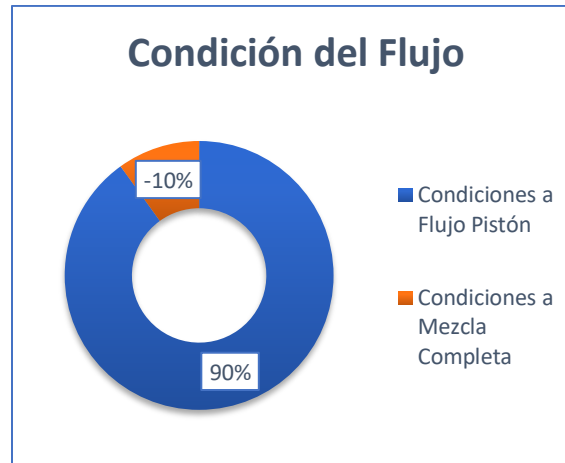
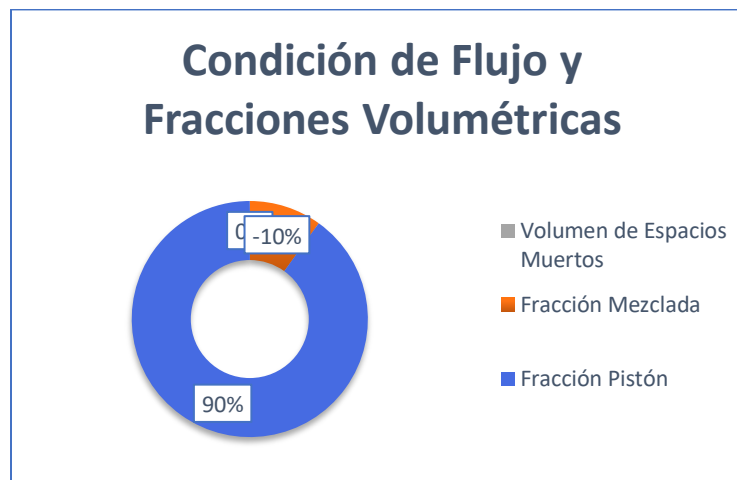


Figura 45.

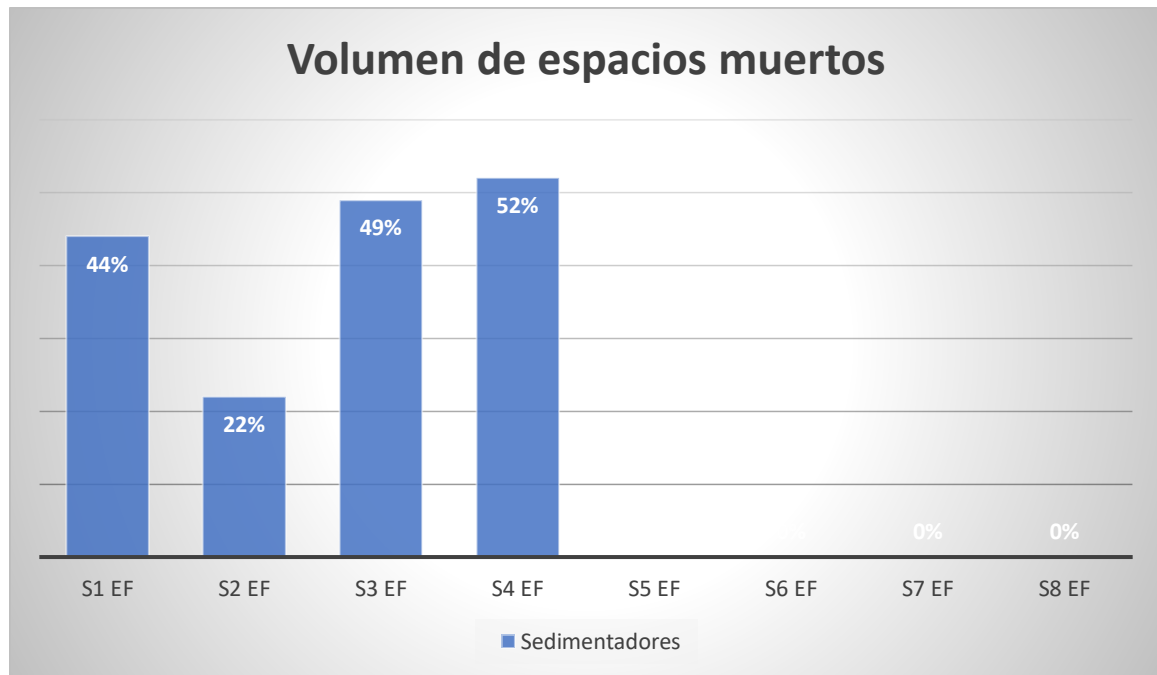
Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas, Sedimentador 8



De acuerdo a las condiciones de flujo y fracciones volumétricas por cada sedimentador, se evidencia que las condiciones de estos en su mayoría de mezcla rápida son similares y en el volumen de espacios muertos les resta más volumen a las líneas de flujo pistón que al flujo mezclado

Figura 46.

Volumen de espacios muertos sedimentadores



Como se evidencia en la Figura 46, los últimos sedimentadores 5, 6, 7 y 8, no presentaron volumen de espacios muertos lo que significa que las condiciones de la fracción mezclada y la fracción del pistón no son similares dado que en la mayoría de los sedimentadores anteriormente mencionados la fracción del pistón le está restando a la fracción mezclada.

6.1.8 Análisis Hidráulico para el caudal de diseño y operación de las Unidades de Tratamiento

En este Título se presenta el análisis hidráulico de las unidades de tratamiento, para su caudal de diseño, de 1200 L/s.

Posteriormente luego se accedió a las unidades para realizar las mediciones de sus geometrías útiles tales como: ancho, largo, profundidad entre otras, que de acuerdo a recomendación de diseño se deben tener en cuenta, las cuales fueron obtenidas con base a revisión del RAS Título C, CEPIS/OPS y Resolución 0330 de 2017.

6.1.8.1 Revisión hidráulica en mezcla rápida

Mediciones de campo en mezcla rápida

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las mediciones en la unidad de mezcla rápida de la PTAP Gota la Huaricha.

Tabla 5.

Datos de entrada - perfil Creager

Parámetros	Unidades	Valor
Caudal de diseño	m ³ /s	1,2
Ancho de canal existente	M	5,78
Gravedad	m/s ²	9,81
Altura del vertedero	M	1,34
Temperatura del agua	°C	23
Peso específico	kg/m ³	998, 68
Viscosidad	Kg.s/m ²	9,99

Parámetros mezcla rápida 1200 L/s

Los parámetros relevantes que se revisaron son: el número de Froude, tiempo de mezcla y gradiente de velocidad. Por lo anterior se aplicaron las siguientes formulaciones:



Tabla 6.

Parámetros teóricos Perfil Creager

Parámetro	Formula	Cálculos	Resultado	Unidad	
1	Altura lámina de Agua (HLA)	$HLA = \left(\frac{Q}{2,224 \times B} \right)^{2/3}$	$HLA = \left(\frac{1,2}{2,224 \times 5,78} \right)^{2/3}$	0,205	m
2	Altura Total (Z)	$Z = P + HLA$	$Z = 1,34 + 0,205$	1,545	m
3	Velocidad en el Resalto (V1)	$V1 = \left[2g \times \left(Z - \frac{HLA}{2} \right) \right]^{1/2}$	$V1 = \left(2(9,81) \times \left(1,545 - \frac{0,205}{2} \right) \right)^{1/2}$	5,31	m/s
4	Altura en el Resalto (h1)	$h1 = \frac{Q}{(V1 \times B)}$	$h1 = \frac{1,2}{(5,31 \times 5,78)}$	0,039	m
5	Numero de Froude (F)	$F = \frac{V1}{(h1 \times g)^{0,5}}$	$F = \frac{5,31}{(0,039 \times 9,81)^{0,5}}$	8.58	
6	Altura Final del Resalto (h2)	$h2 = \left(\frac{h1}{2} \right) \times \sqrt{1 + 8 \times F^2} - 1$	$h2 = \left(\frac{0,039}{2} \right) \times \sqrt{1 + 8 \times 8,58^2} - 1$	0,473	m
7	Cálculo de Perdida de Energía (H)	$H = \frac{(h2 - h1)^3}{(4 \times h1 \times h2)}$	$H = \frac{(0,473 - 0,039)^3}{(4 \times 0,039 \times 0,473)}$	1,107	m
8	Cálculo de la Longitud del Resalto (L)	$L = 6 \times (h2 - h1)$	$L = 6 \times (0,473 - 0,039)$	2,604	m
9	Velocidad al final del perfil (V2)	$V2 = \frac{Q}{(h2 \times B)}$	$V2 = \frac{1,2}{(0,473 \times 5,78)}$	0,438	m/s

Parámetro	Formula	Cálculos	Resultado	Unidad
10 Velocidad Promedia en el Perfil (V_m)	$V_m = \frac{(V1 + V2)}{2}$	$V_m = \frac{(5,31 + 0,438)}{2}$	2.874	m/s
11 Cálculo del Tiempo de Mezcla (T_o)	$t = \frac{L}{V_m}$	$t = \frac{2,604}{2,874}$	0,906	s
12 Cálculo del Gradiente de Velocidad (G)	$G = \sqrt{\frac{Y}{\mu} \times \frac{H}{t}}$	$G = \sqrt{\frac{998,68}{9,99 \times 10^{-5}} \times \frac{1,107}{0,832}}$	3647.05	s ⁻¹

Aunado a lo anterior se procede a realizar el siguiente análisis, luego de calcular cada parámetro en la tabla 9:

✓ Número de Froude

De acuerdo al párrafo 1 del artículo 111 de la Resolución 0330 de 2017, el Número de Froude debe estar dentro de un rango entre 4,5 a 9,0. Para el caudal de 1200 L/s, el número de Froude de 8,58 este cumple con los estándares que se establecen en el rango, lo que significa que para el caudal se logra generar un resalto apto para el mismo.

✓ Gradiente de Velocidad Medio

Con base al CEPIS – Capítulo 5, Mezcla Rápida, se puede inferir que para esta unidad el mecanismo predominante es el de adsorción, donde los parámetros operacionales de la mezcla rápida son la intensidad de agitación que se debe impartir a la masa de agua para dispersar al coagulante, la cual se evalúa mediante el gradiente de velocidad.

Por lo expuesto anteriormente, se puede decir que para el caudal de diseño para la PTAP La Huaricha, se logra generar la intensidad de agitación necesaria en la masa de agua para lograr la dispersión del coagulante, pero el gradiente

de velocidad está sobrepasando el establecido en el artículo 111 de la Resolución 0330 de 2017, el cual indica que el Gradiente de Velocidad Medio debe estar dentro de un rango entre 1000 a 2000 s⁻¹. Para el caudal de 1200 L/s, el Gradiente de Velocidad Medio es de 3647.05 s⁻¹.

✓ Tiempo de Mezcla Rápida

El tiempo durante el cual debe aplicarse la agitación al agua, es el otro parámetro que influye en lograr la intensidad de agitación necesaria para la dispersión del coagulante con base al CEPIS – Capitulo 5, Mezcla Rápida, De acuerdo al artículo 111 de la Resolución 0330 de 2017, el tiempo de mezcla rápida es inferior a 1 segundo. Para el caudal de 1200 L/s, el tiempo de mezcla fue de 0,906 segundos, para lo cual este valor nos indica que si se está aplicando, dado que cumple con el estándar permisible establecido por la norma.

Evaluación hidráulica mezcla rápida

El parámetro a evaluar es el Gradiente de Velocidad, mediante la siguiente formulación:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} \times \frac{H}{t}}$$

(13)

Dónde,

G	:	Gradiente de Velocidad
γ	:	Peso específico del agua (998,68 kg/m ³)
μ	:	Viscosidad Dinámica del agua (0,000979 kg-s/m ²)
H	:	Pérdida de Carga (m)
T	:	Tiempo de retención (s)

La pérdida de carga fue obtenida mediante nivelación topográfica (de igual manera se hizo para las otras unidades).

$$H = 1,107$$

El tiempo de retención de la unidad, para 23°C de temperatura, fue obtenido mediante el Análisis de Flujo y el ensayo de trazadores.

$$t = 1 \text{ segundo}$$

Por lo tanto, el Gradiente de Velocidad será:

$$G = \sqrt{\frac{998,68}{0,000979} \times \frac{1,107}{1}}$$

$$G = 1062.66 \text{ s}^{-1}$$

Con respecto al artículo 111 de la Resolución 0330 de 2017, el Gradiente de Velocidad Medio debe estar dentro de un rango entre 1000 a 2000 s⁻¹, para lo cual este rango si aplica luego de obtener el gradiente de velocidad calculado, para un caudal de 1502 L/s.

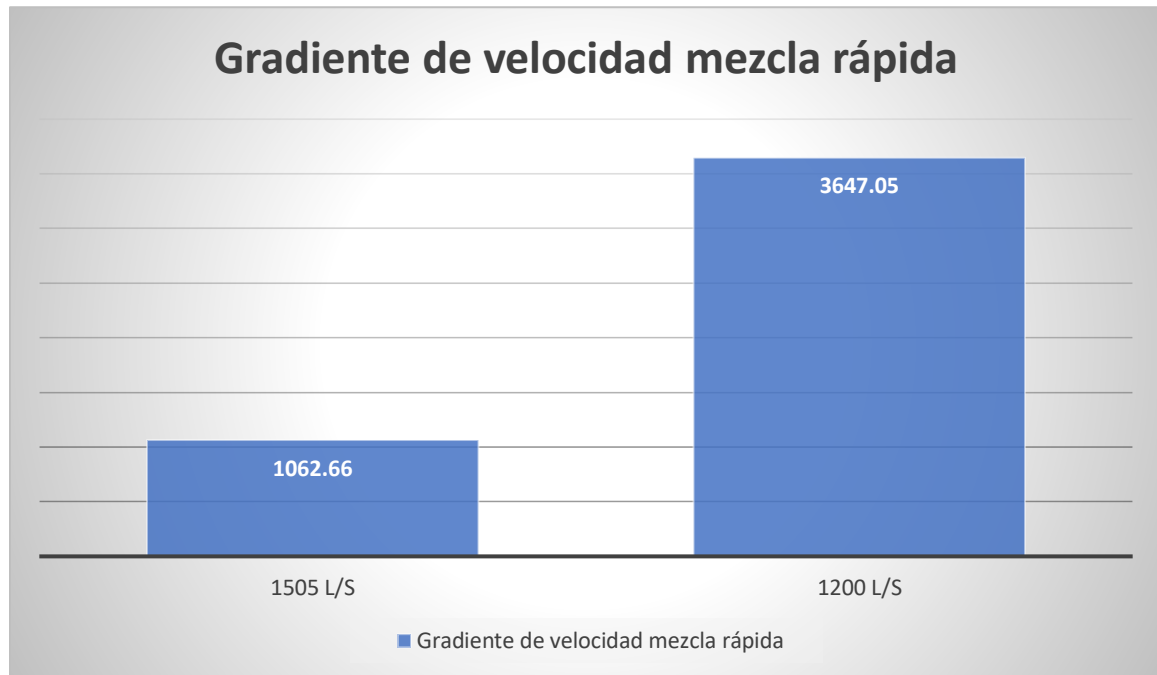
Síntesis Caudal de Diseño y Operativo Mezcla Rápida

Al comparar el gradiente de velocidad del caudal de diseño y el operativo se obtiene la siguiente relación, a continuación, se presenta la dicha comparación en la tabla 10:



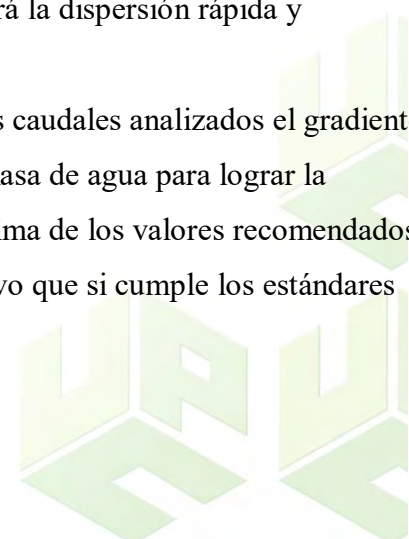
Figura 47.

Gradiente de velocidad mezcla rápida



El caudal operativo presente tiene un Gradiente de Velocidad que es un 3% más grande que el Gradiente de Velocidad para el caudal de Diseño, el cual guarda interacción con la sobrecarga del caudal que soporta actualmente la planta, esto impacta técnicamente dentro del funcionamiento u operatividad de la misma ya que no garantizará la dispersión rápida y homogénea de los coagulantes y auxiliares de coagulación

En base en lo anterior se puede concluir que para los dos caudales analizados el gradiente de velocidad genera la intensidad de agitación necesaria en la masa de agua para lograr la dispersión del coagulante, pero el caudal de diseño está por encima de los valores recomendados por la Resolución 0330 de 2017, a diferencia del caudal operativo que si cumple los estándares legales permisibles.



6.1.8.2 Revisión Hidráulica en floculadores

6.1.8.2.1 Mediciones de campo en floculadores

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las mediciones en las unidades de floculación de la PTAP la Huaricha.

Tabla 7.

Datos de entrada - Floculadores

Parámetros	Unidades	Valor
Caudal (Q)	m ³ /s	1,2
Nº de Floculadores (NF)	unid	8
Nº de Cámaras (NC)	unid	15
Ancho (L1)	m	1,53
Largo (L2)	m	1,97
Profundidad (H1)	m	3,63
Profundidad (H2)	m	3,3
Profundidad Media (Hm)	m	3,25
Gravedad (g)	m/s ²	9,81
Coefficiente de descarga (Cd1)	---	0,8
Coefficiente de descarga (Cd2)	---	0,64
Constante de Conductividad Hidráulica (K)	---	0,4
Temperatura (T)	°C	23
Viscosidad Cinemática (μ)	m ² /s	$9,87 \cdot 10^{-7}$

6.1.8.2.2 Parámetros teóricos floculadores

Los parámetros de referencia a revisar son el número de cámaras, velocidad en el codo, tiempo de retención hidráulico y gradiente de velocidad. Para ello ha de aplicarse las siguientes formulaciones, contempladas en la siguiente tabla 12:



Tabla 8.

Parámetros teóricos Floculadores

Parámetros	Ecuaciones	Cálculos	Resultado	Unidad
1 Caudal Especifico (q)	$q = \frac{Q}{N^{\circ} \text{Floculadores}}$	$q = \frac{1,2}{8}$	0,15	m ³ /s
2 Volumen de Floculador (V)	$V = (L1 * L2 * Hm) * NC$	$V = (1,53 * 1,97 * 3,25) * 15$	146,93	m ³
3 Tiempo de retención en cada Floculador (T)	$T = \frac{V}{q}$	$T = \frac{146,93}{0,15} \times \frac{1}{60}$	16,32	min
4 Área de cada cámara (A)	$A = L1 * L2$	$A = 1,53 * 1,97$	3,014	m ²
5 Volumen de cada Cámara (Vc)	$Vc = A * Hm$	$Vc = 3,014 * 3,25$	9,79	m ³
6 Tiempo de retención de cada cámara (Tc)	$Tc = \frac{Vc}{q}$	$Tc = \frac{9,79}{0,15} \times \frac{1}{60}$	1,087	min

✓ Tiempo de Retención Hidráulico

Con respecto a la Ficha Técnica C.F.1 “Floculación Hidráulica” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS y en concordancia con el artículo 112 de la Resolución 0330 de 2017, el tiempo de retención hidráulica que es requerido según la norma en la unidad de floculación para que se produzca la aglomeración de las partículas debe estar determinado en un rango de 20 a 40 minutos. Por lo anterior se tiene que: para el caudal de 1200 L/s, el tiempo de retención hidráulico es de 16,32 minutos lo cual se encuentra por debajo del límite permisible, resaltando que no llega a estar dentro del rango establecido.

- Número de cámaras

Cuanto más grande sea el número de compartimentos, menores van a ser los cortocircuitos del agua, según lo determinado por el CEPIS Capítulo 6 – Floculación, por consiguiente y en concordancia con lo referido en el título C – C.F.1. donde plantea que el número mínimo de cámaras es de 9 empero es preferible hacer 15 o el número de unidades elementales para el volumen de agua que se requiera intentar, se concluye que el número de cámaras con los que cuenta esta unidad está en las sugerencias adecuadas.

6.1.8.2.3 Evaluación Hidráulica Floculadores

Los parámetros a evaluar son el Gradiente de Velocidad y los tiempos de retención. Para el gradiente de velocidad se utiliza la siguiente formulación:

$$G = \left(g \times \frac{H}{t} \times \mu \right)^{0,5} \quad (14)$$

Dónde,

G	:	Gradiente de Velocidad
g	:	Gravedad (9,81 m/s ²)
μ	:	Viscosidad Dinámica del agua (0,000979 kg-s/m ²)
H	:	Pérdida de Carga (obtenido por nivelación topográfica =0,92 m)
t	:	Tiempo de retención (s)

Las pérdidas de carga se obtuvieron por nivelación topográfica. H= 0,92 m.

El tiempo de Retención Hidráulica para cada unidad de floculación con una temperatura del agua en el momento de la toma de muestras de 23°C son los siguientes:

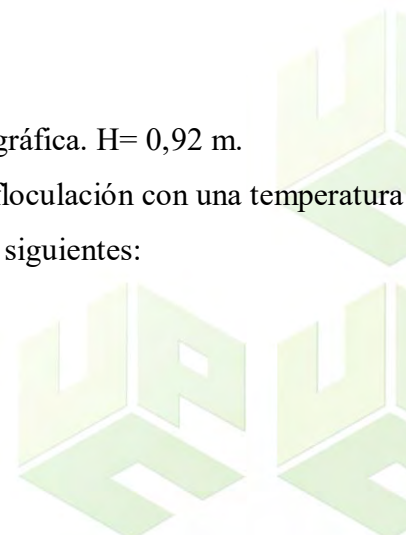


Tabla 9.

Tiempo de Retención y Caudal para cada Floculador de la PTAP La Huaricha

Floculadores - Caudal 1502 L/s								
Floculadores	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	F 8
Tiempo de Retención (Min)	16,32	16,32	16,32	15	14,4	16,32	17	13
Caudal (L/s)	72,61	104,52	73,99	68,27	337,79	187,34	546,93	110,56

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del Gradiente de Velocidad obtenido para cada una de las unidades de floculación:

Tabla 10.
Gradiente de Velocidad Promedio de los Floculadores. Caudal 1502l/s

Floculadores	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Gradiente de Velocidad (G)	143, 419	429,014	255,52	226,47	249,54	102,94	513,53	466,73

Con respecto al artículo 112 de la Resolución 0330 de 2017, establece que el gradiente de velocidad que se requiere en la unidad de floculación debe estar determinado en un rango de 10 a 70 s⁻¹. Como se puede observar el gradiente de velocidad promedio para el caudal de operación de 1200 l/s este es mayor, teniendo en cuenta que cuando hay menores tiempos de retención los gradientes aumentan, esto se debe principalmente a la sobrecarga que presenta el caudal de esta planta.

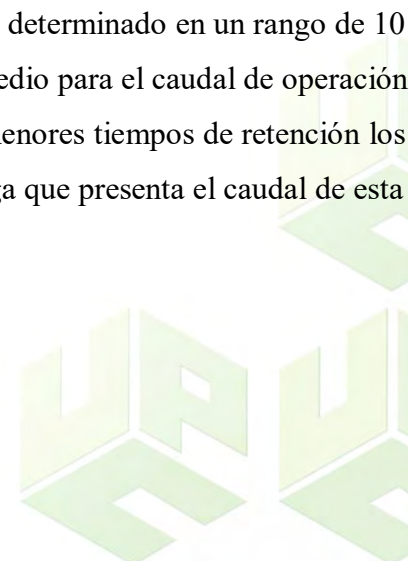
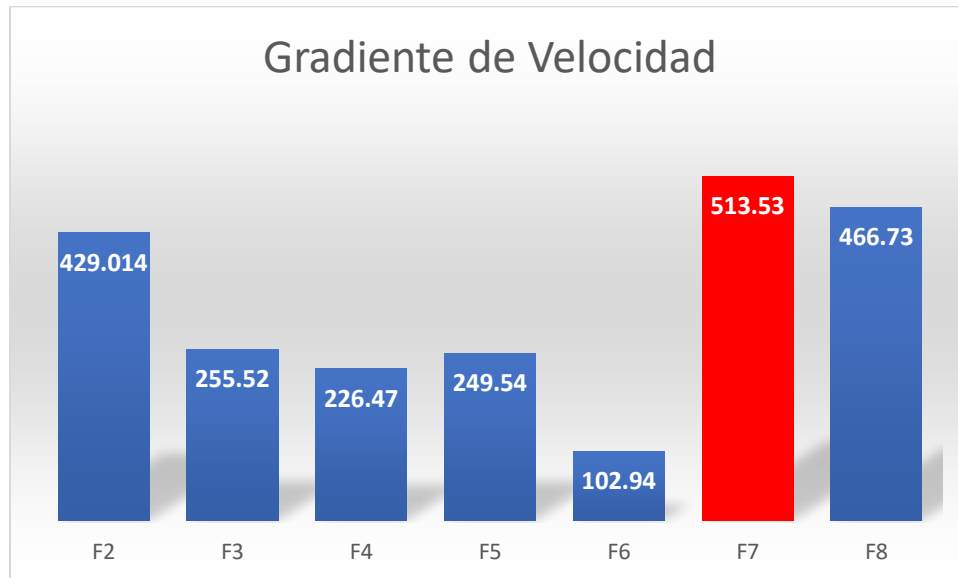


Figura 48.

Gradiente de velocidad (G)



Se puede mirar que para el caudal de operación se muestran tiempos de retención cortos y gradientes de velocidad elevados, Condiciones que producen deficiencias en el proceso de potabilización.

A lo largo de las visitas llevadas a cabo a la planta la Huaricha, se prueba la sobrecarga de caudal al cual es sometida las unidades de floculación. Por lo cual la formación de Floc es bastante pobre.

Síntesis caudal de diseño y operativo floculador

Como se logra evidenciar en la figura 48, para el caudal de operación de 1200 L/s los gradientes promedio de velocidad obtenidos para cada floculador sobrepasan los límites permisibles por la resolución 0330 de 2017 y para el caudal de diseño el gradiente de velocidad promedio se encuentra dentro de los rangos establecidos, sin embargo se debería de considerar que no se encontraron gradientes bajos como se muestra en el análisis llevado a cabo con anterioridad, lo cual reduce la eficiencia de estas unidades. (En rojo se observa el gradiente de rapidez para el caudal de diseño).

6.1.8.3 Revisión Hidráulica de sedimentadores

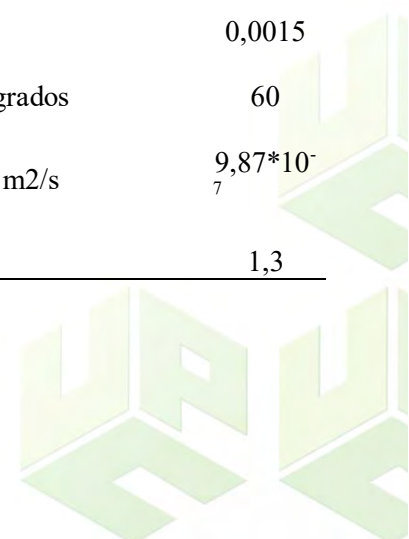
6.1.8.3.1 Mediciones en sedimentadores

En la siguiente tabla 15 se presenta el resumen de las mediciones en las unidades de sedimentación de la PTAP La Huaricha:

Tabla 11.

Datos de entrada de sedimentadores

Parámetros	Unidades	Valor
Caudal (Q)	m ³ /Seg	1,2
#Sedimentadores	unid	8
# Módulos Sed.	unid	2
Long. Útil (L)	m	19,5
Ancho Útil (An)	m	4,90
Profundidad (P)	m	4,10
Long. Paneles (Lp)	m	1,27
Separación entre placas	m	0,06
Espesor		0,0015
Ang. Inclinación	grados	60
Viscosidad Cinemática (μ)	m ² /s	$9,87 \cdot 10^{-7}$
Factor De Forma (So)		1,3



6.1.8.3.2 Parámetros teóricos sedimentadores

En esta unidad se identifican 4 regiones de sedimentación:

Zona de acceso: se ocupa de repartir uniformemente el río

Zona de sedimentación: Donde los floc caen al fondo del sedimentador

Zona de lodos: funciona por medio del sistema de drenaje

Zona de salida: Donde se desempeña control sobre el río y desde ahí se regula el grado de agua en el tanque

Los parámetros de referencia a revisar son el tiempo de retención, profundidad, carga superficial, número de Reynolds, inclinación de placas, número de unidades, velocidad crítica de sedimentación y extracción de lodos.

Por lo anterior se hayan las siguientes formulaciones:

Zona de entrada

Evaluación de los orificios del Box Couvert del agua floculada

El reparto del agua floculada a las unidades de sedimentación se realiza mediante un múltiple abastecedor localizado en la parte inferior por la parte central de cada Sedimentador. El múltiple se apoya en un box de 0,50 metros (m) de ancho x 0,52 m de elevado y 10,60 m de extenso, con 19 agujeros de 6" por cada costado y espaciados 0,57 m centro a centro.

✓ Caudal del Orificio

$$Q_{\text{orificio}} = \frac{Q_{\text{box}}}{N^{\circ} \text{ Orificio Box}} \quad (15)$$

$$Q_{\text{orificio}} = \frac{0,15 \text{ m}^3/\text{s}}{38}$$

$$Q_{\text{orificio}} = 0,00394 \text{ m}^3/\text{s}$$

✓ Área del Orificio



$$A \text{ orificio} = \frac{\pi(D. \text{ orif})^2}{4}$$

$$A \text{ orificio} = \frac{\pi(0,1524\text{m})^2}{4}$$

$$A \text{ orificio} = 0,018 \text{ m}^2$$

✓ Velocidad del Orificio

$$\text{Vel. orificio} = \frac{Q \text{ orificio}}{A \text{ orificio}}$$

(16)

$$\text{Vel. orificio} = \frac{0,00394\text{m}^3/\text{s}}{0,018\text{m}^2}$$

$$\text{Vel. orificio} = 0,22 \text{ m/s}$$

✓ Radio Hidráulico

$$R \text{ orificio} = \frac{D. \text{ orificio}}{4}$$

(17)

$$R \text{ orificio} = \frac{0,1524 \text{ m}}{4}$$

$$R \text{ orificio} = 0,0381 \text{ m}$$

✓ Gradiente velocidad del orificio

$$G \text{ Orif} = \sqrt{\frac{f \times V^3}{v \times 8 \times R_h}}$$

(18)

$$G \text{ Orif} = \sqrt{\frac{0,04 \times (0,22\text{m/s})^3}{9,87 * 10^{-7}\text{m}^2/\text{s} \times 8 \times 0,0381}}$$

$$G \text{ Orif} = 37.62 \text{ s}^{-1}$$

Con respecto a lo establecido en la Ficha Técnica C.F.1 “Floculación Hidráulica” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS, la cual establece un rango de 20 a 70 s-1 de gradiente de velocidad y de acuerdo al artículo 112 de la Resolución 0330 de 2017, el gradiente de velocidad requerido en la unidad de floculación debe estar determinado en un rango de 10 a 70 s-1. Posteriormente, la misma regla, confirma que en el Sedimentador los gradientes de rapidez tienen que ser como más alto equivalentes a los de la última cámara del Floculador; de lo opuesto el Floc puede tender a romperse afectando en su caída al fondo del tanque. Se puede observar que el gradiente es menor.

Tabla 12.

Parámetros teóricos sedimentadores

Parámetro	Formula	Cálculos	Resultado	Unidad
Zona de sedimentación				
1 Caudal Unitario q	$q = \frac{Q}{\#Sedimentadores}$	$q = \frac{1,2}{8}$	0,15	m ³ /s
2 Área de cada módulo del Sedimentador (A)	$A = (Long.Util * Ancho) * \#Mod.Sed$	$A = 19,5 * 4,90$	95,55	m ²
3 Largo requerido para la inclinación de las placas 60°	$Lrp = Lp * Cos60^\circ$	$Lrp = 1,27 * Cos60^\circ$	0,63	m
4 Longitud total del Sedimentador	$Ls = L + Lrp$	$Ls = 19.5 + 0,63$	12,28	m

Parámetro	Formula	Cálculos	Resultado	Unidad
5	Volumen/ C. Modulo	$V = Long. Util$ $* Ancho$ $* Prof$	$V = 19.5 * 4.90 * 4.10$	391,75 m ³
6	Carga Superficial (cs)	$cs = \left(\frac{q * 86,400}{A * \text{sen } 60^\circ} \right) * \left(1 + \left(\frac{ep}{e} \right) \right)$	$cs = \left(\frac{0.15 * 86,400}{(95.55 * 2) * \text{sen } 60^\circ} \right) * \left(1 + \left(\frac{0,0015}{0,06} \right) \right)$	80,26 m ³ /m ² * día
7	Área Transversal (AT)	$AT = Ah + \frac{Apo}{\text{sen } 60^\circ}$	$AT = 95.55 + \frac{(4.90 * 1,27)}{\text{sen } 60^\circ}$	102,73 m ²
8	Número de Placas	$n = \frac{(AT * \text{Sen } 60)}{a(e + ep)}$	$n = \frac{(102.73 * \text{Sen } 60)}{4.90(0,06 + 0,0015)}$	295,22
9	Velocidad del flujo (Vo)	$Vo = \frac{q * 86400}{AT * \text{Sen } 60^\circ - (n * ep)}$	$Vo = \frac{0,15 * 86400}{95.55 * \text{Sen } 60^\circ - (295.22 * 0,0015)}$	160,83 m/día 0,0019 m/s
10	Número de Reynolds	$Nre = e * \frac{Vo}{\mu}$	$Nre = 0,06 * \frac{0,0019}{9,87 * 10^{-7}}$	115,50
11	Longitud Relativa	$L = \frac{1}{e}$	$L = \frac{1,27}{0,06}$	21,16
12	Longitud de Transición	$L' = 0,013Nre$	$L' = 0,013Nre$	1,50

Parámetro	Formula	Cálculos	Resultado	Unidad
Longitud relativa en 1 flujo laminar, 3 corregida en la Long. De transición	$L' < L \rightarrow L_o = L - L'$	$L' < L \rightarrow L_o = 21,16 - 1,50$	19,66	
1 Velocidad Critica de 4 Sedimentación	$VSC = \frac{V_o * S_o}{\text{Sen}(60) + L_o \text{Cos}(60)}$	$VSC = \frac{160,83 * 1,3}{\text{Sen}(60) + 19,66 \text{Cos}(6)}$	19,55	m/día
1 Tiempo de 5 Retención total en las celdas	$t = \frac{L_p}{V_o}$	$t = \frac{1,27}{0,0019 * 60}$	11,14	min
1 Tiempo de 6 Retención / C. Sedimentador	$T = \frac{V}{Q}$	$T = \frac{391,75 * 2}{0,15 * 60}$	86,93	min

- ✓ Zona de extracción de lodos

Se realiza extracción de lodos de forma continua.

- ✓ Zona de salida

La recolección de agua sedimentada se realiza mediante once canaletas secundarias ubicadas en cada módulo con dimensiones 0,25m x 4,90 m que descargan a un canal de recolección principal de dimensiones de 0,50 m ancho x 1,50 m de alto x 12,28 m de largo, ubicadas a lo largo de cada Sedimentador y que finalmente entrega a los filtros.

Con base a lo anterior, se obtiene el siguiente análisis:

- ✓ Tiempo de retención

De acuerdo a la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS se recomienda un tiempo de retención con rango entre 10 a 15 minutos y el artículo 113 de la Resolución 0330 de 2017, recomienda un tiempo de retención con rango entre 10 a 20 minutos

Para el caudal de 1200 L/s, el tiempo de retención en cada sedimentador es de 86.93 min, lo cual se encuentra por encima del rango establecido por la normatividad.

✓ Carga superficial

Con respecto a lo estipulado en la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS, la carga superficial de la unidad debe estar entre 120 y 185 m³/m²-día para placas angostas y el artículo 113 de la Resolución 0330 de 2017, recomienda una carga superficial con los mismos límites permisibles.

Para el caudal de 1200 L/s, la carga superficial de 80.26 m³/m²-día la cual se encuentra por debajo del valor establecido.

✓ Número de Reynolds

De acuerdo a la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS, el número de Reynolds debe encontrarse entre 100 y 500, se recomienda un Reynolds menor a 250, lo que garantiza un flujo laminar.

Para el caudal de 1200 L/s, encontramos un valor el Número de Reynolds de 115.50 el cual evidencia el cumplimiento de la norma ya que se encuentra dentro del rango establecido.

✓ Inclinación de placas

En este tipo de unidades se debe seleccionar una inclinación tal que asegure una continua y eficiente remoción de lodos. De acuerdo a la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS, la inclinación de las placas debe ser de 45° a 60°.

Para el caudal de 1200 L/s, la inclinación de las placas fue de 63°, resultado que no corresponde al grado de inclinación de placas establecido por la normatividad legal vigente.

✓ Número de Unidades

De acuerdo a la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS, se debe contar con un mínimo de 2 unidades de sedimentación de alta tasa.

Para el caudal de 1200 L/s, se cuentan con 8 unidades, siendo cuatro veces el valor recomendado.

✓ Extracción de Lodos

De acuerdo a la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS, la extracción de lodos debe ser continua.

Para el caudal de 1200 L/s, la extracción de lodos es continua.

6.1.8.4 Evaluación hidráulica sedimentadores 1502

Los parámetros de evaluación son la carga superficial y el tiempo de retención de las unidades.

La carga superficial está dada por la siguiente formulación:

$$cs = \left(\frac{q * 86,400}{A * \text{sen } 60^\circ} \right) * \left(1 + \left(\frac{ep}{e} \right) \right) \quad (19)$$

Para esto hay que tener en cuenta que todas las unidades reciben un caudal diferente por lo tanto no poseen un caudal unitario, el valor de q está dado por los valores de flujo.

Así mismo, los valores de los tiempos de retención hidráulica de cada unidad provienen del anexo C. Lo necesario para esta sección se presenta en la tabla continua:

Tabla 13.

Tiempo de retención, carga superficial y velocidad crítica de sedimentación de los decantadores

Parámetros	Sedimentador - Caudal 1502 L/s							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Tiempo (min)	48	28	38	28	33	28	28	28
Caudal (L/s)	72.61	104,52	73.99	68.27	337.79	109,38	187.34	146.93
Carga Superficial (m ³ /m ² -día)	38.85	55,93	39.59	36.53	180.79	58.53	100.24	78.62

De acuerdo a la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS y el artículo 113 de la resolución 0330 de 2017, la carga

superficial de la unidad debe estar entre 120 y 185 m³/m²-día para placas angostas, criterio para el cual no aplica ninguna de las cargas superficiales para cada sedimentador halladas en la tabla 13, puesto que desde el sedimentador 1 al 4 los datos obtenidos se encuentran por debajo del rango establecido e igualmente entre los sedimentadores 6-8, también se encuentran por debajo, quedando solamente el sedimentador 5, cumplimiento con el criterio establecido.

Es fundamental evidenciar que unos de los primordiales inconvenientes manifestado por los operadores y evidenciado a lo largo de la visita la planta es que gracias a las altas pérdidas de agua que se muestran en la red de repartición, se necesita operar la planta a un caudal más grande al de diseño para reemplazar el exceso de demanda. Sin embargo, esta práctica provoca que a lo largo de picos de turbiedad la acumulación de lodo en las tolvas sea desmesurada y la re suspensión del mismo sea constante perjudicando de forma fundamental los filtros. Sin embargo, la purga constante de los decantadores provoca que la producción de agua se reduzca de forma notable.

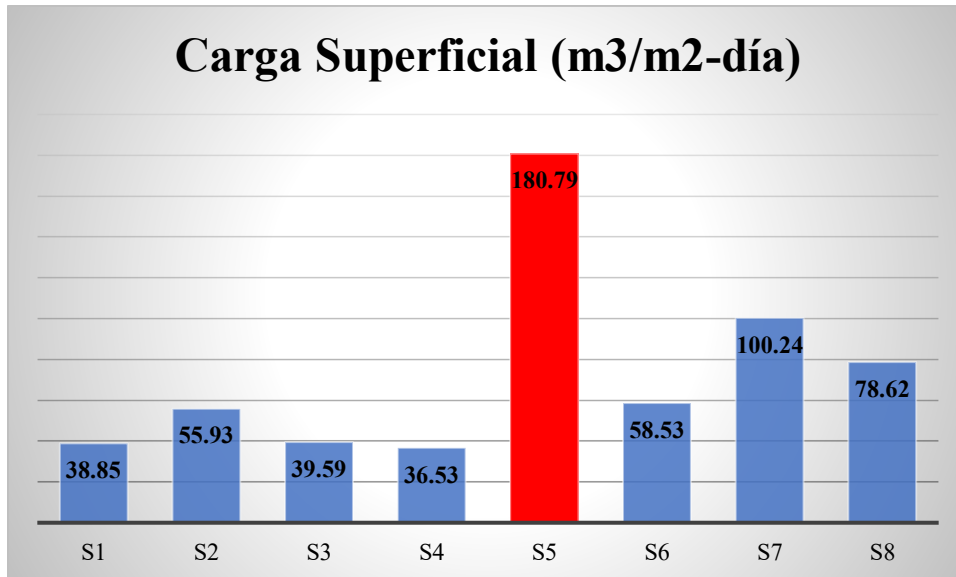
6.1.8.4.1 Síntesis de caudal de diseño operativo y sedimentador

Como se aprecia en la siguiente figura 49, la carga superficial del caudal operativo supera los límites recomendados por la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS y el artículo 113 de la resolución 0330 de 2017, sin embargo, el caudal de diseño si se encuentra dentro de los criterios.



Figura 49.

Comparación de Carga Superficial – Sedimentadores (Q. Diseño y Operativo)

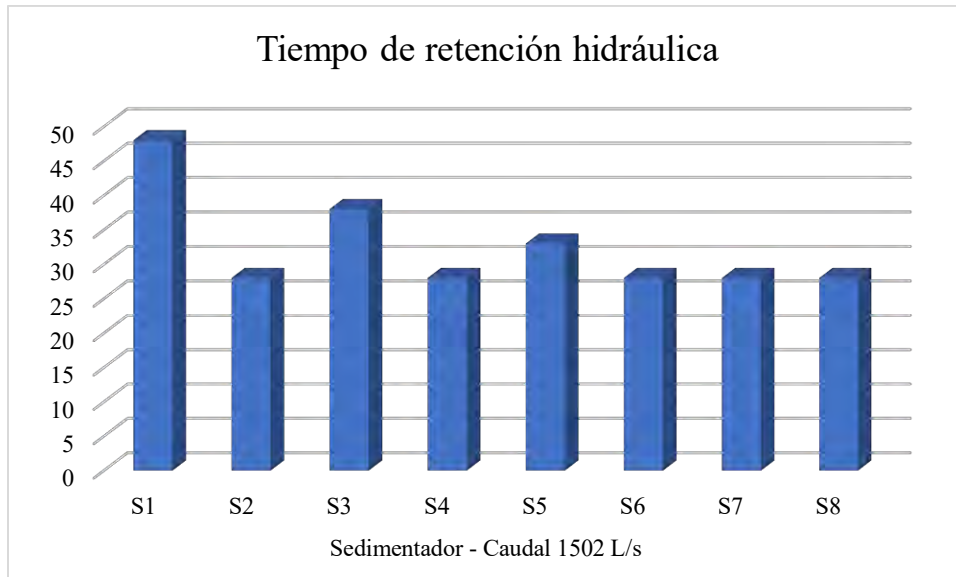


Para los mismos lineamientos de sugerencias y de diseños, la época de Retención Hidráulica muestra un comportamiento tal, que el caudal operativo está bastante por arriba del límite preeminente y el caudal de diseño está por abajo del costo (límite inferior) recomendado.



Figura 50.

Comparación de Tiempo de Retención – Sedimentadores



6.1.9 Evaluación del proceso de filtración.

En este proceso se comenzó con la remoción de las partículas suspendidas y coloidales del agua, también se determinaron la eficiencia de las unidades o procesos anteriores tomando muestras de turbiedad del agua filtrada y se evaluaron parámetros hidráulicos como caudal, tiempo de retención (de 10 a 15 minutos según colmatación del filtro), velocidad de lavado y caudal de lavado.

Revisión hidráulica en filtros

Mediciones

Las unidades de filtración de la planta la Huaricha, serán evaluadas con lo dispuesto en la Resolución 0330 de 2017 – Art. 114, y por el Título C. Sistemas de potabilización.

La planta la Huaricha, cuenta con 10 unidades de filtración rápida. Las dimensiones de dichas unidades son las siguientes:

Tabla 14.

Parámetros

Parámetros	Unidades	Valor
Numero de filtros	unidades	10
Largo del filtro	M	6,60
Ancho del filtro	M	6,04
Profundidad del filtro	M	4,02
Área superficial del filtro	M2	39,86

Los filtros enumerados del 1 al filtro 6 cuentan con una estructura de lavado diferente a los filtros del 7 al 10

Para los todos los filtros se tienen en cuenta que el área de filtración no corresponde al área superficial total del filtro, debido a que estas medidas incluyen el área de las canaletas que recoge el agua de lavado y este no es área filtrante.

Estos 6 (seis) primeros filtros cuentan con 6 canaletas recolectora de agua de lavado, tienen un ancho de 0,28 m por ende las dimensiones dadas a continuación son las que corresponden al área filtrante. (Tomada por medición directa)

Tabla 15.

Parámetros Área filtrante

Parámetros	Unidades	Valor
Largo del Filtro (L)	M	5,76
Ancho del Filtro (A)	M	6,04
Área Superficial del Filtro (As)	m ²	35

Para los filtros del número 7 al número 10, estos cuentan con 3 canaletas secundarias que vierten el agua de lavado a una canaleta principal; estas canaletas tienen un ancho de 0,82 m por ende las dimensiones dadas a continuación son las que corresponden al área filtrante para los filtros ya anteriormente mencionados. (Tomada por medición directa)

Tabla 16.

Área filtrante para los filtros

Parámetros	Unidades	Valor
Largo del Filtro (L)	M	4,14
Ancho del Filtro (A)	M	6,04
Área Superficial del Filtro (As)	m ²	25

Parámetros Teóricos Filtros (Q = 1200 L/s)

A continuación, se presenta el cálculo del área de filtración total y tasa de filtración para las 10 unidades de filtros con que cuenta la planta la Huaricha y para su caudal de diseño de 1200 l/s

CÁLCULO DEL AREA DE FILTRACION (A) PARA FILTROS DEL 1 AL 6

$$A = (A_n * L) \# \text{Filtros} \quad (20)$$

$$A = (6,04\text{m} * 5,76\text{m}) * 6$$

$$A = 208,74 \text{ m}^2$$

CÁLCULO DEL AREA DE FILTRACION (A) PARA FILTROS DEL 7 al 10

$$A = (A_n * L) \# \text{Filtros} \quad (21)$$

$$A = (6,04\text{m} * 4,14\text{m}) * 4$$

$$A = 100,02 \text{ m}^2$$

SE PROCEDE A SUMAR LA DOS ÁREAS

$$A_T = A_1 + A_2 \quad (22)$$

$$A_T = 208,74 \text{ m}^2 + 100,02 \text{ m}^2$$

$$A = 308,76 \text{ m}^2$$

1. Cálculo de la tasa de Filtración (Tf)

$$T_f = \frac{Q * 86.400}{A} \quad (23)$$

$$T_f = \frac{1,2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 86.400 \text{ s}}{308,76 \text{ m}^2}$$

$$Tf = 335,79 \frac{m^3}{m^2 * día}$$

CARACTERISTICAS DE LA UNIDAD

Por encima del lecho filtrante están ubicadas las canaletas de lavado.

Los 6 (seis) primeros filtros de la planta Huaricha cuentan con 6 canaletas secundarias con dimensiones de 0,28 metros (m) de ancho, 2,76 m de largo y 0,40 m de alto los cuales vierten a una canaleta principal de lavado de 1 m de ancho y 6,05 m de largo.

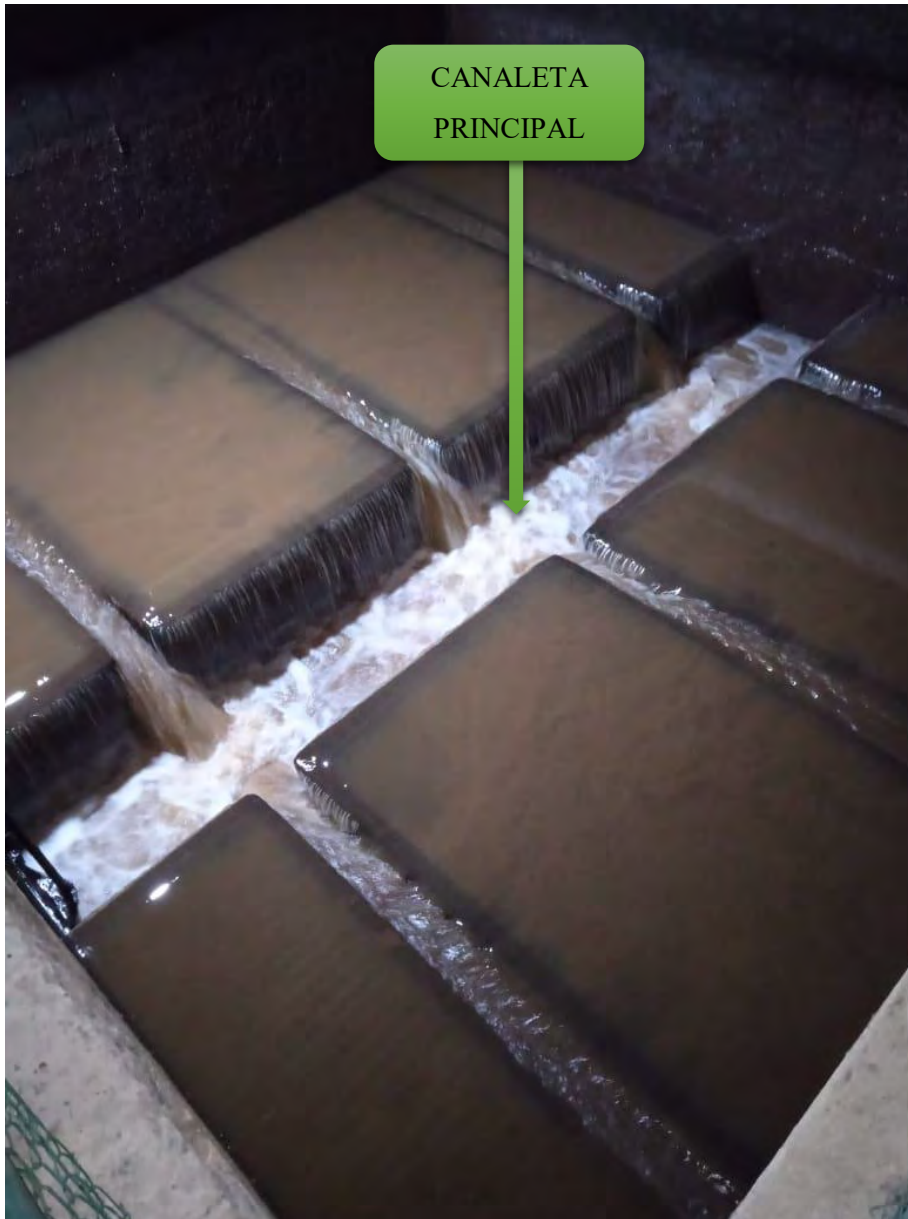
Figura 51.

Canaletas Secundarias



Figura 52.

Canela Principal



Para los filtros del 7 (siete) al filtro 10 (diez) de esta misma planta, estos cuentan con 3 canaletas secundarias con dimensiones de 0,82 metros (m) de ancho, 6,10 m de largo y 0,40 m de alto los cuales vierten a una canaleta principal de lavado de 1 m de ancho y esta conduce el agua al canal de desagüe.

Figura 53.

Canaletas secundarias

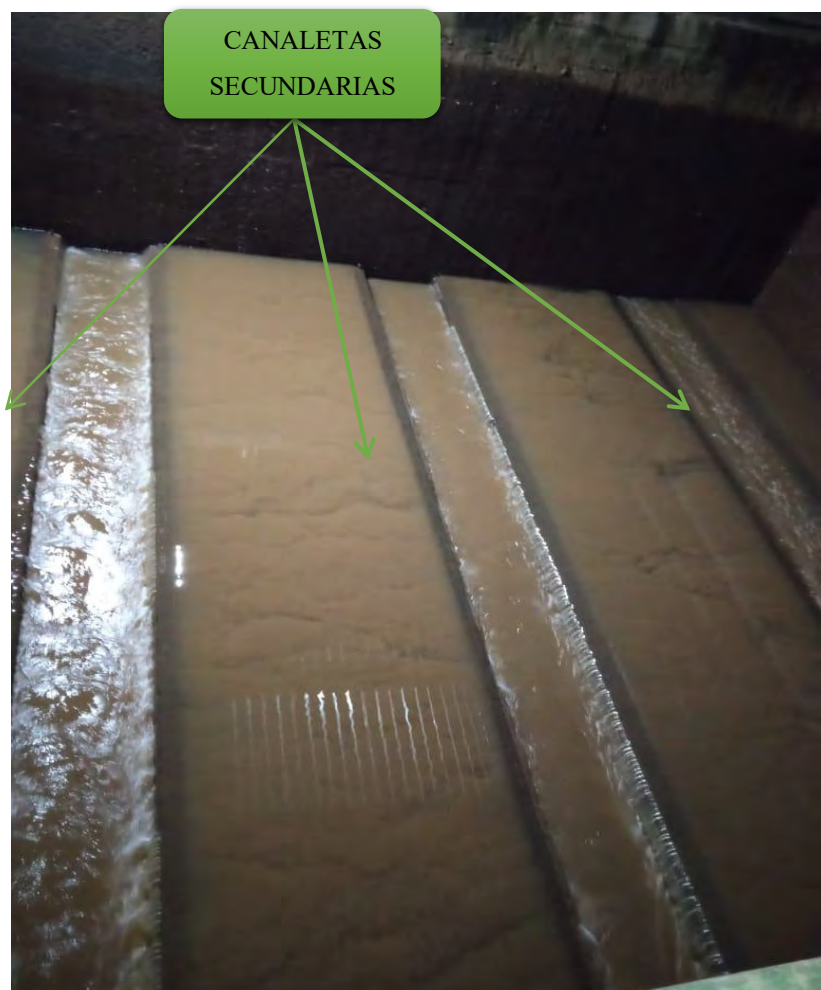


Figura 54.

Canaleta Principal



Evaluación Hidráulica Filtros ($Q = 1502 \text{ L/s}$)

El parámetro considerado para esta sección es la tasa de filtración. Para el caudal operativo la tasa de filtración es igual a:

PARA TODOS LOS FILTROS

$$T_f = \frac{Q * 86.400}{A}$$

(24)

$$T_f = \frac{1,502 \frac{m^3}{s} * 86.400 s}{308,76 m^2}$$

$$T_f = 420,30 \frac{m^3}{m^2 * día}$$

Síntesis Caudal de Diseño y Operativo

Resultado que es un 43% mayor con respecto a la tasa de filtración de diseño, observando que con el caudal de diseño el valor que representa ineficiencia para la unidad.

Figura 55.

Tasa de Filtración

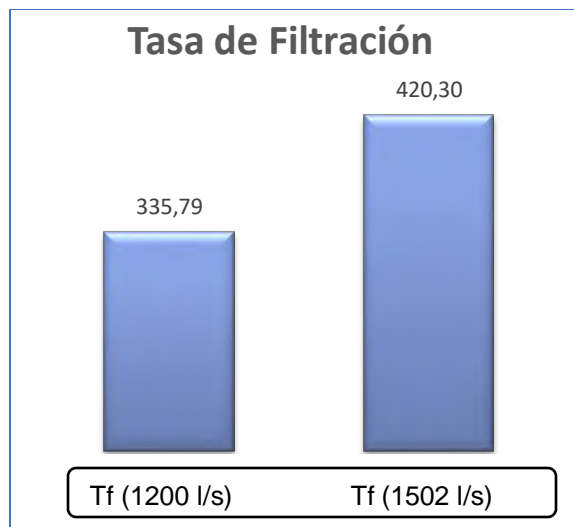


Tabla 17.

Parámetros RAS 2000

2000	Parámetros RAS	Valor	Caudal 1	Caudal 2
	Caudal (L/s)	N/A	1200	1500
	Tasa de filtración, Tf	TF < 300 m ³ /m ² - día	335,79	420,30

Fuente: Informe plan maestro de Valledupar

A parte del deterioro evidente de los lechos filtrantes, en la visita realizada se observó que en el filtro número 1 una de las paredes que conforman una cámara del lecho está totalmente derrumbada; lo que quiere decir que al momento de hacer el lavado de esta unidad la mayor cantidad de agua va a ingresar por esta cámara ya que no hay pared que retenga esa agua y por ende solo se lavarían las cámaras en la margen donde se encuentra la pared de la cámara dañada.

Teniendo en cuenta la información recolectada tanto en las visitas a la planta e información suministrada por los operarios, las carreras de filtración están dando en orden de 12 horas en temporada seca y puede bajar hasta 4 a 6 horas en temporada de lluvias, esto dependiendo si la turbiedad del agua aumenta, afectando de manera significativa la producción de agua, ya que lavados tan frecuentes no permiten producir los volúmenes necesarios de agua para suplir demanda requerida por la ciudad. Así mismo las carreras de filtración tan bajas, son un claro indicio de deterioro del lecho filtrante y constante sobrecarga de los filtros, adicionalmente esto genera pérdidas importantes de agua y sobrecostos de operación ya que gran parte del agua producida (coagulada, sedimentada y filtrada) está siendo utilizada para lavado de filtros; y mientras la planta trabaje con caudales tan altos los procesos que preceden a los filtros no trabajaran de manera adecuada y gran parte de la carga de tratamiento la seguirán recibiendo las unidades de filtros y en muy poco tiempo los lechos nuevamente se comenzaran a colmatar.

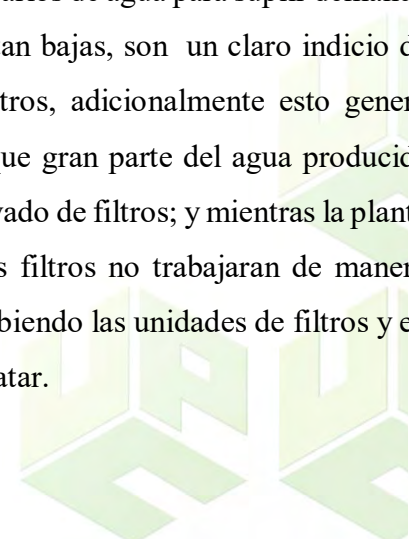
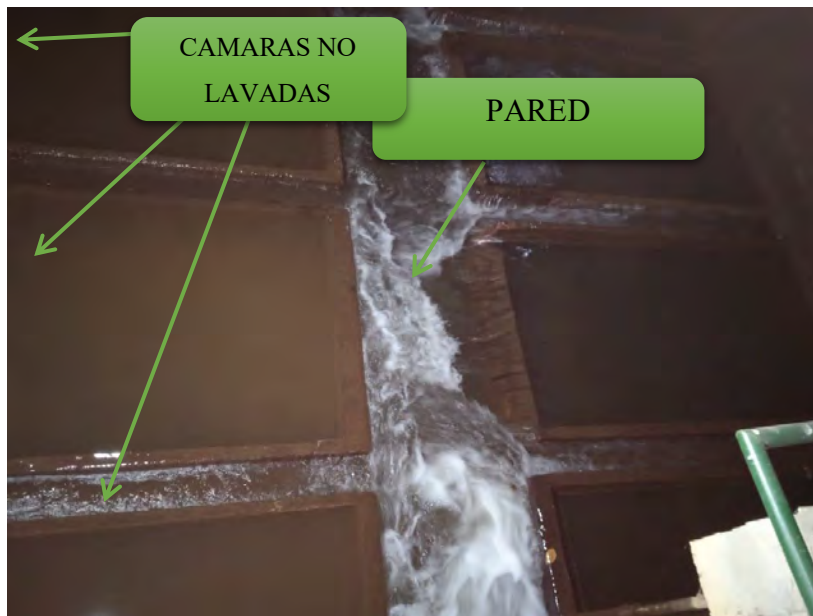


Figura 56.

Cámaras no lavadas



6.1.10 Verificar la calidad del afluente y efluente y analizar con base en su operación actual

Se realizó la calidad del afluente y el efluente, verificando mediante los siguientes análisis de operación actual de la planta:

De acuerdo con los resultados de la evaluación hidráulica realizada se observa que tanto el caudal de diseño (1200l/s) de las unidades de filtración como el caudal de operación actual (1502 l/s), la tasa de filtración es de muy calidad, lo que genera sobre carga en los lechos filtrantes y se observa el deterioro de estos tal como se evidencio en la visita realizada.

6.2 Proponer alternativas de diseño para la optimización del servicio, según los requerimientos de la población y la capacidad instalada del sistema.

6.2.1 Alternativas de diseño para la optimización del servicio

Tabla 18.

Alternativas de acuerdo a la resolución 0330/2017 (RAS)

Alternativas de acuerdo a la resolución 0330/2017 (RAS)	
<p>La carga superficial del caudal operativo por la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS y el artículo 113 de la resolución 0330 de 2017</p> <p>De acuerdo a la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS y el artículo 113 de la resolución 0330 de 2017 la carga superficial de la unidad debe estar entre 120 y 185 m³/m²-día para placas angostas</p> <p>De acuerdo a la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS, se debe contar con un mínimo de 2 unidades de sedimentación de alta tasa</p> <p>De acuerdo a la Ficha Técnica C.S.3 “Sedimentación de Alta Tasa” del Título C:</p>	<p>Esta supera los límites recomendados, y se propone, para ello mejorar el caudal de diseño operativo y el sedimentador para de esta manera asegurar un adecuado diseño en la unidad.</p> <p>Con base a este criterio, se propone una alternativa de diseño ya que según lo expuesto en la tabla 13, los sedimentadores están por debajo de los límites permisibles, se recomienda que la planta opere un caudal mayor que al de diseño para que el exceso de demanda se reemplace</p> <p>Se propone realizar constantemente el análisis constante para los elementos de entrada y repartición de cada caudal en cada unidad de sedimentación y ampliar la capacidad de cada uno de ellos, esto con la finalidad de garantizar la distribución equitativa, desde el inicio hasta el final de la entrega.</p> <p>Como este criterio no se está cumpliendo se propone, el cambio o renovación del diseño</p>

Sistemas de Potabilización del RAS se recomienda un tiempo de retención con rango entre 10 a 15 minutos y el artículo 113 de la Resolución 0330 de 2017, recomienda un tiempo de retención con rango entre 10 a 20 minutos.

Con respecto a la Ficha Técnica C.F.1 “Floculación Hidráulica” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS y en concordancia con el artículo 112 de la Resolución 0330 de 2017, el tiempo de retención hidráulica que es requerido según la norma en la unidad de floculación para que se produzca la aglomeración de las partículas debe estar determinado en un rango de 20 a 40 minutos.

De acuerdo a lo establecido en el RAS

de sedimentadores ya que se encuentra por encima del rango establecido por la normatividad

Se propone que el responsable operativo de la planta, realice un análisis multivariable constante, para garantizar la eficiencia de la remoción y el tiempo de retención hidráulica

Se recomienda que en la tasa de filtración se mejore la calidad en la infraestructura, ya que es de muy mala calidad con respecto a la operación actual de la planta (1502 l/s).

Para los todos los filtros se tienen en cuenta que el área de filtración no corresponde al área superficial total del filtro, debido a que estas medidas incluyen el área de las canaletas que recoge el agua de lavado y este no es área filtrante, de esta manera es importante una

adecuación del área de filtración para que las medidas no incluyan el área de las canaletas.

En cuanto a la sobre carga de filtros en temporada y seca y de lluvias, es importante mencionar que es recomendable implementar, una canaleta de filtros más extensa para evitar el sobre lavado diario, para poder suplir con la demanda actual de la ciudad.

Una recomendación amplia y general es proponer la ampliación de la planta, ya que en el este momento representa unas pérdidas significativas, aumentando las unidades de sedimentación floculación y unidades del filtro, donde actualmente sobre pasa los límites de la capacidad sobre su capacidad instalada

6.3 Presentar la mejor alternativa de optimización del servicio de agua potable, acorde a su viabilidad operativas, económicas y ambientales.

6.3.1 Descripción de la mejor alternativa de optimización del servicio de agua potable

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación hidráulica, se propone plantear la mejor alternativa dado a los datos obtenidos y comparados con la resolución 0330 del 2017, para satisfacer las necesidades de la población del Municipio de Valledupar y garantizar el buen funcionamiento de la planta.

Actualmente la planta la Huaricha presenta un déficit de tratamiento en sus unidades (floculadores, sedimentadores y filtros) teniendo en cuenta los rangos permisibles según la resolución 0330/2017. Por lo cual es de suma importancia resaltar la necesidad de ampliar los componentes del sistema.

Uno de ellos es ampliar la capacidad de los floculadores, sedimentadores y filtros o en su defecto construir otras unidades que trabajen en paralelo, puesto que, dada la evaluación hidráulica analizada, existen sobre cargas en cada una de las unidades.

De esta manera se puede garantizar que las unidades que presentan dicho déficit en el sistema de tratamiento de agua potable trabajen adecuadamente. No obstante el número total requerido para cada una de las unidades dependerá del área disponible con el que cuenta actualmente la PTAP la Huaricha.



Conclusiones

Con base en la identificación de los componentes que componen la planta de tratamiento de agua potable “Huaricha”, se demuestra que esta planta está sujeta a sobrecargas, especialmente en las horas pico de consumo, resultando en una falla operacional que puede ser tipificada, así como la presencia de desgasificación en alguna de sus estructuras, fisuras y fugas por posibles desgastes.

Los resultados de la evaluación del comportamiento del Floculador mediante el método de Wolf Resnick y el índice de Morrill arrojaron resultados que indican la presencia de remolinos e hidráulicos. Como consecuencia de la sobrecarga que ahora se gestiona en la planta, los Sedimentadores presentan presencia de zonas muertas y circuitos hidráulicos, factores que influyen en los tiempos de retención y provocan problemas en la misión hidráulica de los módulos de tratamiento.

Teniendo en cuenta los datos recopilados durante las visitas a la planta, así como la información recopilada por los operadores, las carreras de filtración están funcionando a un ritmo de 12 horas en una estación seca y de 4 a 6 horas en una estación húmeda, dependiendo de si el aumenta la turbidez del agua, afectando la producción de agua de manera significativa.

De igual forma, las carreras de filtros bajos son un claro indicador del deterioro de la lixiviación filtrante y de la sobrecarga constante del filtro; además, esto resulta en pérdidas de agua significativas y costos operativos porque una gran parte del agua producida (coagulada, sedimentada y filtrada) se usa para lavado de filtros; y mientras la planta está trabajando con caudales, esto resulta en pérdidas de agua y costos operativos significativos.

Por otro lado, actualmente existen pérdidas en el sistema que están superando la capacidad de estas plantas para ser tratadas, siendo necesaria la implementación de medidas encaminadas a controlar las pérdidas y optimizar las redes de almacenamiento y tanques, reduciendo el costo total del proyecto en un máximo del 25% tal y como lo establece la norma actualmente.

Recomendaciones

Con respecto a los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación se proponen las siguientes recomendaciones:

- Realizar un mantenimiento preventivo y correctivo, para mantener el buen estado, y de esta manera aumentar la vida útil
- Medición de caudales de manera periódica
- Mejorar y optimizar equipos de monitoreo
- Verificación de carga de los filtros para que estos no sobrepasen los límites de su capacidad
- Optimización de las redes de acueducto y alcantarillado para de esta manera asegurar la disminución de pérdidas actuales en la planta.
- Ampliación de los filtros, sedimentadores y floculadores, para que estos no se vean afectados por la demanda actual de los afluentes.



Referencias

(Perez, 2016). (2016). Obtenido de (Perez, 2016):

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13991/4/DIAGN%C3%93STICO%20Y%20EVALUACI%C3%93N%20PTAP%20GUATEQUE%20ZAIDA%20CAMILA%20PEREZ%20CUADROS%20503120.pdf>

(Clavijo, 2013). (s.f.). Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11706/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20planta%20de%20tratamiento%20de%20agua%20potable%20del%20municipio%20de%20Garz%C3%B3n%20-%20Huila.pdf;jsessionid=0C56B0A7C45179CB6C894CB6A893AF05?sequence=1>

(Vargas & Cuellar 2019). (s.f.). Obtenido de (Vargas & Cuellar 2019):

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1774&context=ing_ambiental_sanitaria

ACODAL. (2017). *ACODAL (Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental)*. Obtenido de <http://www.acodal.org.co/reglamento-tecnico-ras-nueva-resolucion-0330-de-2017/>

AGUASISTEC. (2019). *AGUASISTEC*. Obtenido de Planta de Tratamiento de Agua potable:

<http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php>

Alcaldía De Bogotá. (s.f.). *Secretaría Distrital del Habitat*. Obtenido de

<https://www.habitatbogota.gov.co/transparencia/normatividad/normatividad/ley-142-1994>

Alcaldía de Valledupar mi municipio. (s.f.). Obtenido de Alcaldía de Valledupar mi municipio:

<http://www.valledupar-cesar.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx>

Alvarez, M., Angarita, T., & Bejarano, N. (2008). *EVALUACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "LA HUARICHA" DE LA EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS EMDUPAR S.A.E.S.P EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR CESAR*. Valledupar.

biologica, S. d. (2010). *GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS AGUA POTABLE, DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y DESARROLLO*.

BUITRAGO, M. F. (2018). Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004555.pdf>

CEPIS. (s.f.). *MANUAL DE DISEÑO DE UNA PTAP TOMO II*.

CESPIS. (s.f.). *MANUAL DE DISEÑO DISEÑO DE PTAP TOMO II*.

Consortio Plan Maestro Valledupar. (2014). *INFORME DE ALTERNATIVAS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CIUDAD DE VALLEDUPAR*. Valledupar.

Consultor. (2017). *ATRIBUTOS SERVICIOS PUBLICOS*.

Cruz, J., & Sanchez, M. (2017). *DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL MUNICIPIO DE MIRAFLORES – BOYACÁ*.

DANE. (09 de 01 de 2021). *Censos*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/60-espa%C3%B1ol/demograficas/censos>

DELEGADA., S. (2018). *EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES EMPRESAS DE SERVICIOS PUBLICOS DE BECERRIL EMBECERRIL E.S.P. SUPERSERVICIOS*.

Díaz, w. (2017). *Evaluación y Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de TENA en el Departamento de CUNDINAMARCA*. Bogota.

EMDUPAR. (2015). *MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIONES DEL SISTEMA DE SUMINISTRO Y TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE*.

EMDUPAR. (2015). *MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO*. Obtenido de *MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO*.

EMDUPAR S.A. – E.S.P. (2021). *EMDUPAR S.A. – E.S.P.* Obtenido de <https://www.emdupar.gov.co/>

EMDUPAR S.A. – E.S.P. (s.f.). *EMDUPAR S.A. - E.S.P.* Obtenido de <http://www.emdupar.gov.co/>

EMDUPAR. (s.f.). *Plantas de Potabilización de Agua Superficial "La Guaricha" y "La Gota Fria"*. Valledupar.

Fandiño, j., & Camargo, C. (2013). *Evaluación y Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Purificación en el departamento de Tolima*. Bogota. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1101/2/Trabajo%20de%20grado%20Revisado.pdf>

Gomez, C. L. (2014). *EVALUACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA DEL MUNICIPIO DE CHIMICHAGUA-CESAR*. VALLEDUPAR.

Gualdrón, M. V. (21 de Marzo de 2011). *COLOMBIA POTENCIA HIDRICA?* Obtenido de VANGUARDIABLOG: <http://blogs.vanguardia.com/medio-ambiente/sin-categoria/1468-colombia-potencia-hidrica>

- Guerrero Vejarano, T. E., Salazar Álvarez, J. C., & Paredes Salazar, J. L. (2018). Eficiencia de un sedimentador laminar y convencional para eliminar sólidos. *Scielo*, 336-439.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación- Sexta edición*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Higuera & Parra, 2018. (s.f.). Obtenido de Higuera & Parra, 2018:
<http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004555.pdf>
- Loaiza, J. (2018). *Diagnóstico del Sistema Operativo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable GUACAVÍA en el Municipio de CUMARAL, Departamento del META*. Villavicencio.
- Lopez, A., & Jimenez, B. (2016). *DIAGNOSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SAN ANTONIO- ASOCIACION SUCUNETA*. Bogota D.C.
- Martinez, C. (2018). *Investigacion Descriptiva. Tipos y Caracteristicas*.
- Min Ambiente. (27 de 11 de 2009). *Resolución 2320 de 2009*. Obtenido de
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=38487>
- Min.Ambiente. (2007). Obtenido de
<http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>
- Ministerio de Vivienda. (JUNIO de 2017). *RESOLUCION 330 DE 2017 MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO*. Obtenido de
[https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_330_de_2017_ministerio_de_vivienda_ciudad_y_territorio.aspx#/#/](https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_330_de_2017_ministerio_de_vivienda_ciudad_y_territorio.aspx#/)
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2012). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico - Ras*. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co>
- Ministerio del Interior. (2019). Obtenido de Mininterior: <https://www.mininterior.gov.co/la-institucion/normatividad/ley-99-de-1993>
- Pascal Suarez, Á. C., & Rodríguez Miranda, J. P. (2016). Determinación de las características hidrodinámicas de dos sedimentadores sedhelcon para el tratamiento de aguas residuales. *I+D Revistas de Investigaciones*, 117-124.
- PILON, E. (Julio de 2016). Solo 10 municipios del Cesar tienen agua apta para consumo humano.
- PILON, E. (28 de Julio de 2016). Solo 10 municipios del Cesar tienen agua apta para consumo humano.

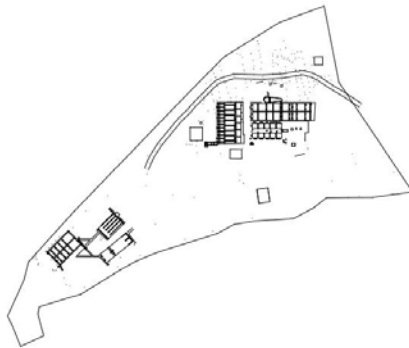
- portafolio. (2014). Obtenido de portafolio: <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/60-colombianos-recibe-agua-potable-55800>
- Quiñones, D., & Rojas, G. (2017). *Diseño del Plan de Optimización de la PTAP de la Vereda EL TOBAL, SUBACHOQUE*. Bogota.
- RAS. (Noviembre de 2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. TITULO C*. Obtenido de http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- RAS. (2017). *Min.Vivienda*. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>
- Resolucion, M. d. (0330 (2017)). *Reglamento tecnicodel sector agua potable y saneamiento basico*. Obtenido de Reglamento tecnicodel sector agua potable y saneamiento basico: https://www.catorce6.com/images/legal/Titulo_C_Potabilizacion.pdf
- Sampieri, R. (s.f.). *Metodologia de la Investigacion* .
- Sampieri, R., Fernández C., C., Baptista L., P., & Collado., H. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México: McGraw Hill.
- Sanchez, E., & Ballesteros, K. (2017). *Evaluación de la Calidad del Agua y Formulación de Alternativas de Mejora en el Sistema de Tratamiento de Agua Potable Suministrada por la Empresa ACOSMI del Barrio SAN MIGUEL I ETAPA del Municipio DEL RIO DE ORO-CESAR*. Ocaña.
- Santiago Jácome , L. (2013). *Manual de operación y mantenimiento del sistema de suministro y tratamiento de agua potable*. Valledupar: EMDUPAR.
- Secretaria del Convenio sobre la Biodiversidad Biologica. (2010). *Agua Potable, Diversidad biológica y desarrollo: Guía de prácticas recomendadas*. Montreal.
- Simulaciones y proyectos. (2021). *Calcula pérdidas de carga, posibilidad de cavitación, etc*. Obtenido de <https://www.simulacionesyproyectos.com/software/fluidflow-software-simulacion-redes-hidraulicas-pardidas-carga/#:~:text=FLUIDFLOW%20%C2%AE%20es%20el%20software,gr%C3%A1fico%20simple%20%20robusto%20e%20intuitivo>.
- Superintendencia de Servicios Publicos domiciliarios. (2017). *EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE VALLEDUPAR S.A. - EMDUPAR S.A. E.S.P*. Bogota.
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigacion cientifica, 4° Edicion*.

Vanegas Padilla, A. P., & Vergara Rada, L. J. (2008). *EVALUACION HIDRAULICA DE LOS PROCESOS UNITARIOS Y PLAN DE CONTINGENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE AGUSTIN CODAZZI- CESAR*. Valledupar-Cesar.

Anexos

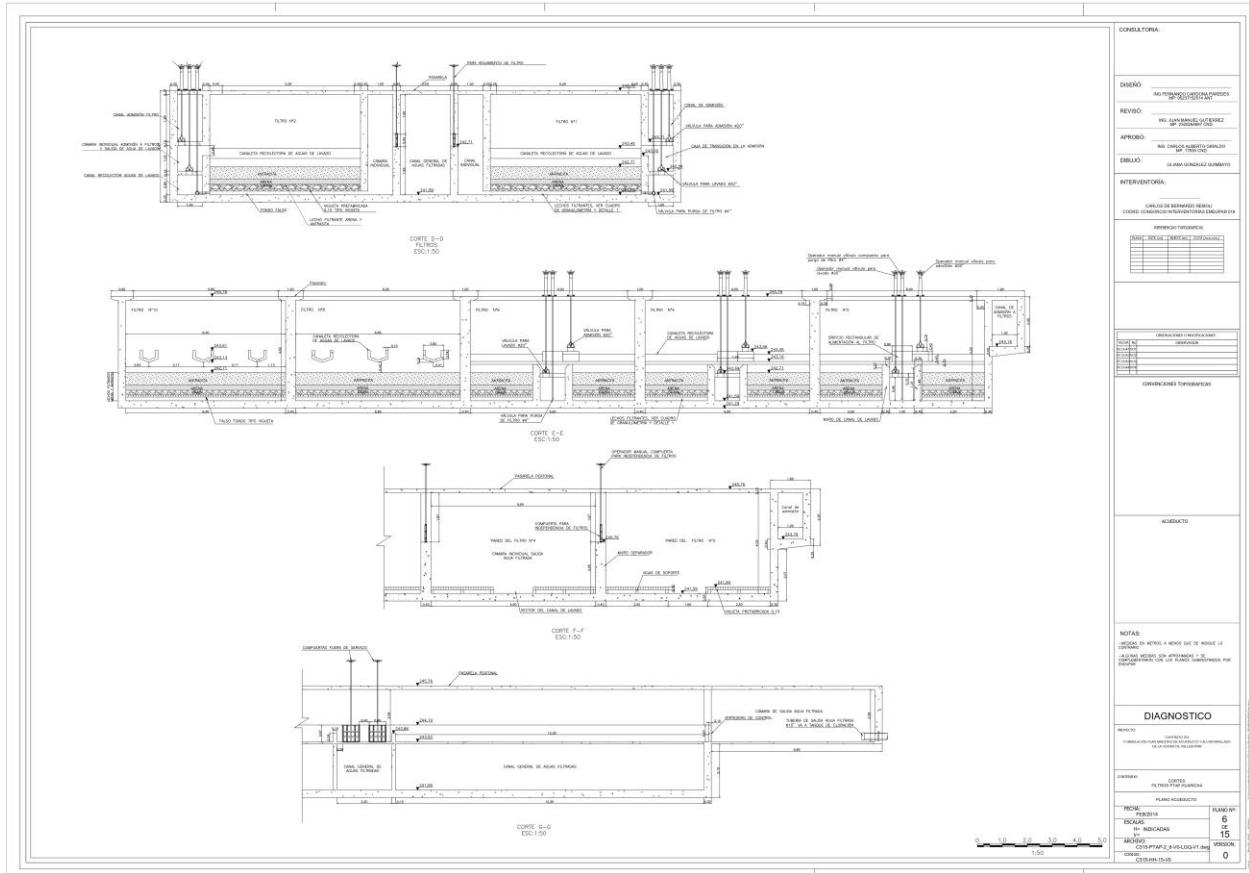
Anexo A. Planos Planta Huaricha







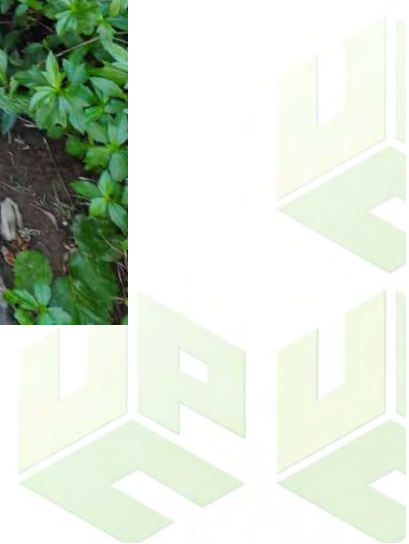




Anexo B. Evidencias fotográficas



Preparación del trazador





Lectura con el multímetro





Toma de muestra en los sedimentadores





Canal de aducción



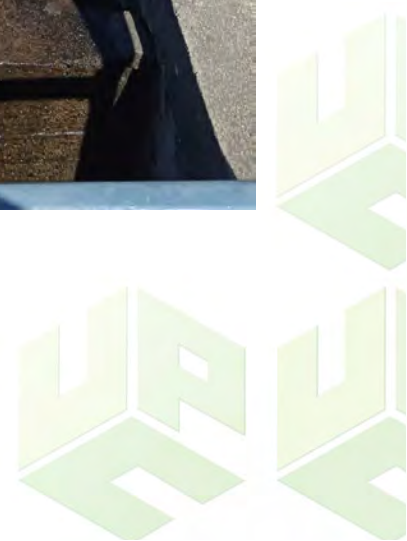


Perfil creager, mezcla rápida





Canal de admisión.





Aplicación del trazador en mezcla rápida





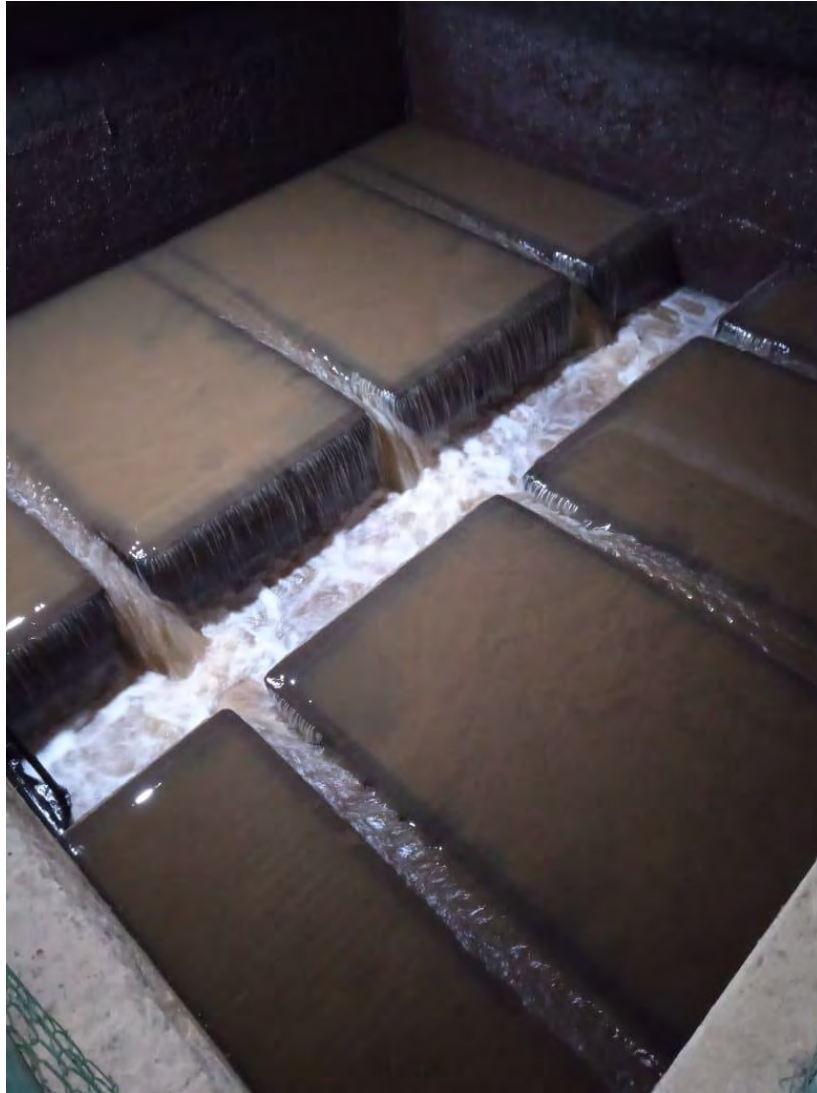
Módulos unidades de sedimentadores





Unidad de floculación.





Unidad del proceso de filtración 1.





Unidad del proceso de filtración 2.

Anexo C. Floculadores y sedimentadores

Mezcla Rápida

Unidad:	Mezcla Rápida	Tiempo 10% (T_{10}):	9,53	s
---------	---------------	--------------------------	------	---

Caudal (Q):	1502	L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	37,66	s
Volumen (V):	77,29	m ³	Tiempo 90% (T ₉₀):	2,89	s
Concentración (C ₀):	Inicial 88	ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t ₀):	0,86	s	t ₅₀ /t ₀ :	43,91	
Tiempo Inicial (t _i):	0	s	t _p /t ₀ :	0,11	
Tiempo Pico (t _p):	0,100	s	t ₉₀ /t ₁₀ :	0,30	
Tiempo Final (t _f):	8,00	s	e:	9,09	

Tabla 19.

Tiempos teóricos

t ₁ /t ₀ :	-9,94985121	P:	911%
t ₂ /t ₀ :	10,41344699	M:	-811%
tan(θ):	0,049107958	m:	209%
σ:	-9,94985121	Fm:	886%
		Fp:	-995%

Tiempos

Nº	t (s)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	∑(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	1	94,6	1,16	6,6	6,6	1,04	98,95
3	2	96,4	2,33	8,4	15	2,38	97,61
4	3	96,6	3,49	8,6	23,6	3,75	96,24
5	4	179,5	4,66	91,5	115,1	18,29	81,70
6	5	179,6	5,82	91,6	206,7	32,85	67,14
7	6	200,5	6,99	112,5	319,2	50,73	49,26
8	7	191,6	8,	103,6	422,8	67,19	32,80
9	8	178,2	9,32	90,2	513	81,53	18,46
10	9	114,5	10,49	26,5	539,5	85,74	14,25
11	10	142,5	11,65	54,5	594	94,40	5,59
12	11	123	12,82	35	629	99,96	0,031
13	12	128	13,99	40			

14	13	126,1	15,15	38,1			
15	14	100,1	16,32	12,1			
16	15	98,7	17,48	10,7			
17	16	96,7	18,65	8,7			
18	17	94,6	19,82	6,6			
19	18	89,7	20,98	1,7			
20	19	88,2	22,15	0,2	629,2	100	0

Sentido del gráfico

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (s)	C - Co	t (s)	C - Co
TRH Teórico (tO):	0,857634	6,343742	0,857634	6,343742
	0,857634	0	0	6,343742
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	0,100	112,5	0,1	112,5
	0,1	0	0	112,5
Tiempo 10% (T10):	9,533333	62,92	9,533333	62,92
	9,533333	0	0	62,92
Tiempo Medio (T50):	37,66667	72,6	37,66667	72,6
	37,66667	0	0	72,6
Tiempo 90% (T90):	2,891132	-0,42516	2,891132	-0,42516
	2,891132	0	0	-0,42516
Tiempo Final (tF):	8	90,2	8	90,2
	8	0	0	90,2
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	-9,94985	90	-9,94985	90
	-9,94985	0	0	90
t2/tO:	10,41345	10	10,41345	10
	10,41345	0	0	10

Límites

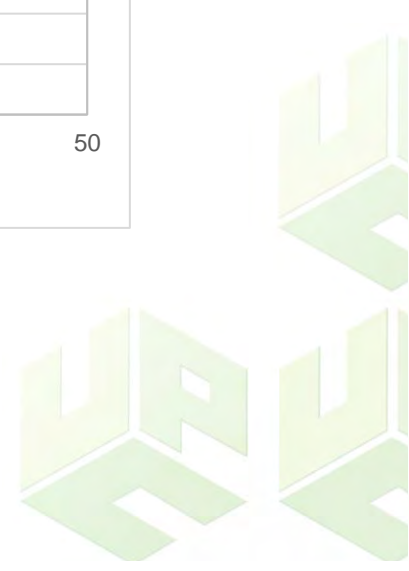
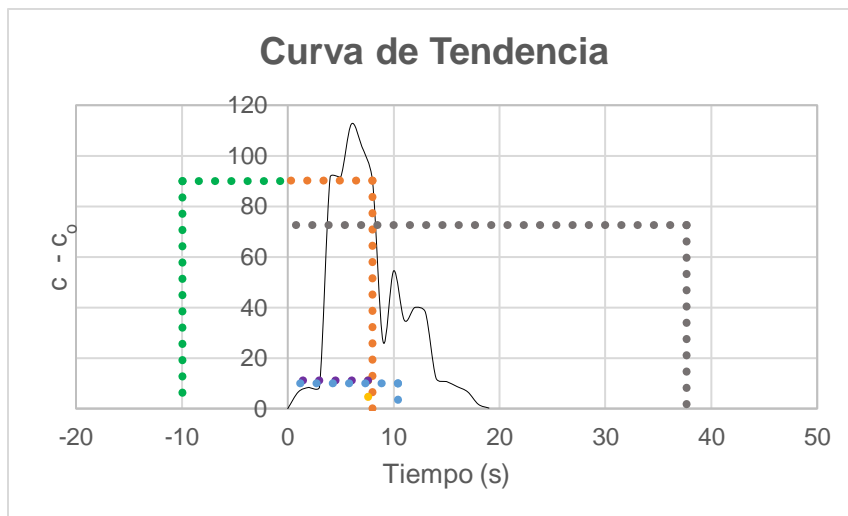
	F(t)	t (s)	
Límite Superior:	1,048951	1	10
Límite Inferior:	0	0	

Límite Superior:	2,38398	2	50
Límite Inferior:	1,048951	1	
Límite Superior:	3,750795	4	90
Límite Inferior:	81,5321	3	

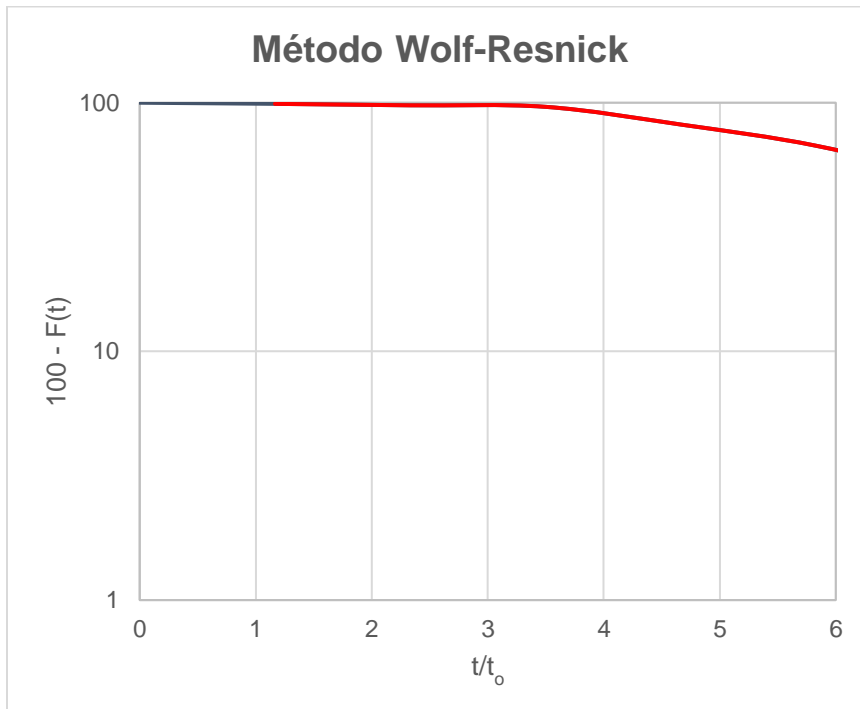
Límites 2

	100	- t/to	
	F(t)		
Límite Superior:	98,95105	0	90
Límite Inferior:	100	1,165998	
Límite Superior:	96,24921	3,497995	10
Límite Inferior:	81,70693	4,663993	

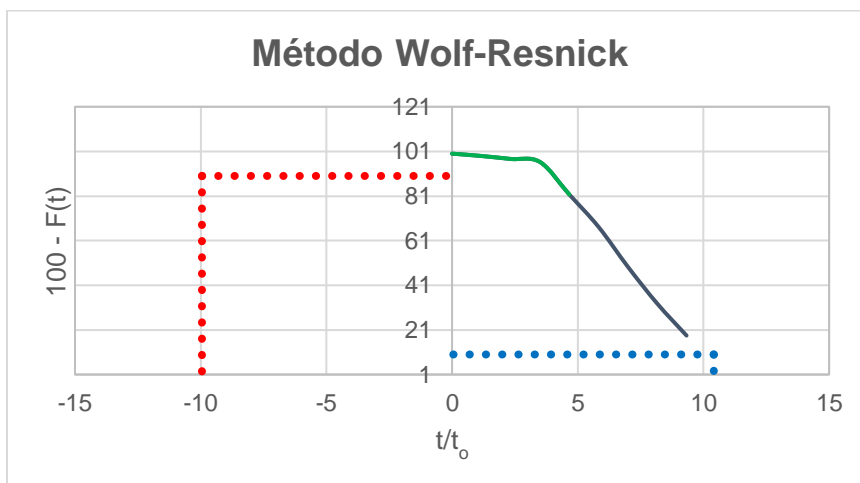
Curva de tendencia



Método Wolf – Resnick 1



Método Wolf – Resnick 1



Inferencias de los Resultados Calculados a partir del Índice de Morrill y Método Wolf-Resnick.

Inferencias de los Resultados Calculados a partir del Índice de Morrill y Método Wolf-Resnick

t_i/t_o :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	911 %	Condiciones Flujo Pistón	a
t_{50}/t_o :	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M:	- 811 %	Condiciones Mezcla Completa	a
t_p/t_o :	PREDOMINIO MEZCLADO	FLUJO	m: 209 %	Volumen Espacios Muertos	de
Eficiencia Volumétrica:	330%	F	886 m: %	Fracción Mezclada	
Excentricidad de la Curva:	FLUJO MEZCLADO IDEAL	Fp	- : 995 %	Fracción Pistón	

Floculador 1

Características hidráulicas Floculador 1

Unidad:	Floculador 1		Tiempo	10%	7,589655	min
			(T₁₀):			
Caudal (Q):	72,61	L/s	Tiempo	Medio	21,75	min
			(T₅₀):			
Volumen (V):	32,82	m ³	Tiempo	90% (T ₉₀):	25,8924	min
Concentración Inicial (C₀):	88	ms/cm	t_i/t_o :		0	
TRH Teórico (t₀):	7,533398	min	t_{50}/t_o :		2,887144	
Tiempo Inicial (t_i):	0	min	t_p/t_o :		2,787587	
Tiempo Pico (t_p):	21	min	t_{90}/t_{10} :		3,411538	
Tiempo Final (t_F):	48	min	e:		0,796453	

Tiempo teórico

t_1/t_o :	1,007467755	P:	49%	OK
t_2/t_o :	3,437014319	M:	51%	
$\tan(\theta)$:	0,411599438	m:	-106%	OK
θ :	1,007467755	Fm:	106%	
		Fp:	101%	

Tiempos

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	∑(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	3	92,1	398227	4,1	4,1	2,354968	97,64503
3	6	96,7	796453	8,7	12,8	7,352096	92,6479
4	9	95,1	4867	7,1	19,9	11,43021	88,56979
5	12	103,8	592907	15,8	35,7	20,50546	79,49454
6	15	113,5	991133	25,5	61,2	35,15221	64,84779
7	18	114,3	2,38936	26,3	87,5	50,25847	49,74153
8	21	115,9	2,787587	27,9	115,4	66,28374	33,71626
9	24	103,8	3,185814	15,8	131,2	75,35899	24,64101
10	27	106	3,58404	18	149,2	85,69787	14,30213
11	30	94,7	3,982267	6,7	155,9	89,54624	10,45376
12	33	93,5	4,380494	5,5	161,4	92,70534	7,294658
13	36	90,5	4,77872	2,5	163,9	94,1413	5,858702
14	39	90,6	5,176947	2,6	166,5	95,63469	4,365307
15	42	90	5,575174	2	168,5	96,78346	3,216542
16	45	91,4	5,9734	3,4	171,9	98,73636	1,263642
17	48	90,2	6,371627	2,2	174,1	100	0
18	51	89,3	6,769854	1,3	1,3	0,746697	99,2533
19	54	89	7,16808	1	1	0,574383	99,42562
20	57	88,1	7,566307	0,1	0,1	0,057438	99,94256
21	60						

Sentido del gráfico

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	7,533398	1,357986	7,533398	1,357986
	7,533398	0	0	1,357986
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	21	27,9	21	27,9
	21	0	0	27,9
Tiempo 10% (T10):	7,589655	11,13747	7,589655	11,13747
	7,589655	0	0	11,13747
Tiempo Medio (T50):	21,75	44,075	21,75	44,075
	21,75	0	0	44,075
Tiempo 90% (T90):	25,8924	28,40464	25,8924	28,40464
	25,8924	0	0	28,40464
Tiempo Final (tF):	48	2,2	48	2,2
	48	0	0	2,2

Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	1,007468	90	1,007468	90
	1,007468	0	0	90
t2/tO:	3,437014	10	3,437014	10
	3,437014	0	0	10

Límites 1 Floculador 1

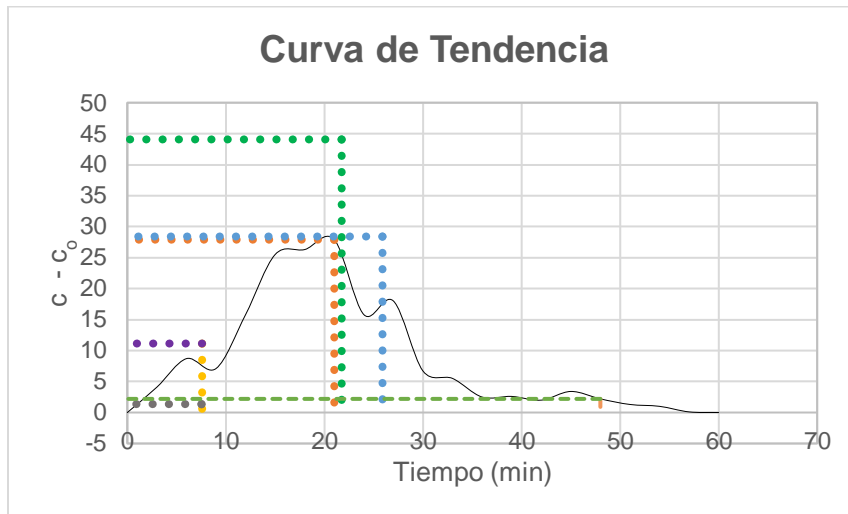
	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	7,352096	6	10
Límite Inferior:	2,354968	3	
Límite Superior:	20,50546	12	50
Límite Inferior:	11,43021	9	
Límite Superior:	50,25847	18	90
Límite Inferior:	35,15221	15	

Límites 2 Floculador 2

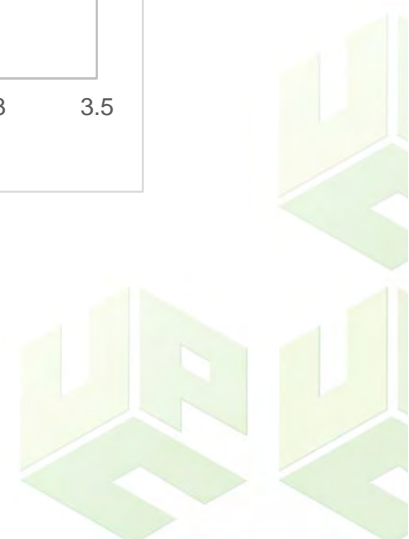
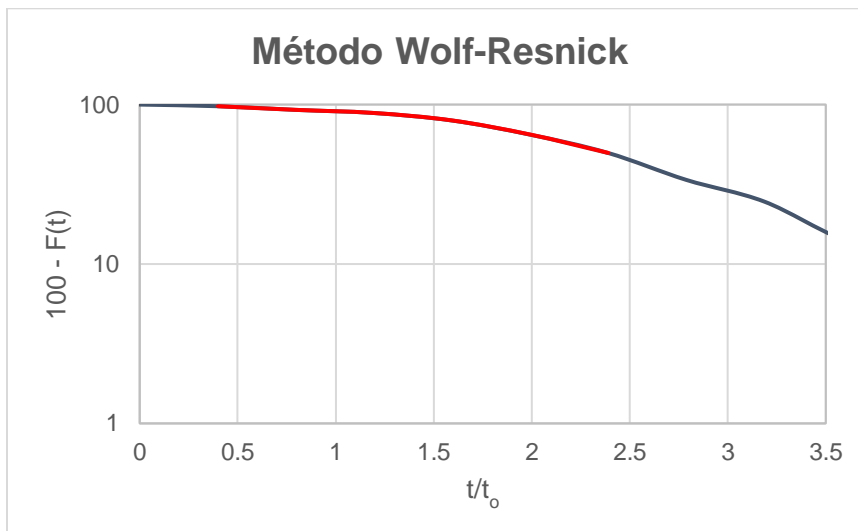
	100 - t/to F(t)		
Límite Superior:	92,6479	0,796453	90
Límite Inferior:	97,64503	0,398227	
Límite Superior:	49,74153	2,38936	10
Límite Inferior:	64,84779	1,991133	



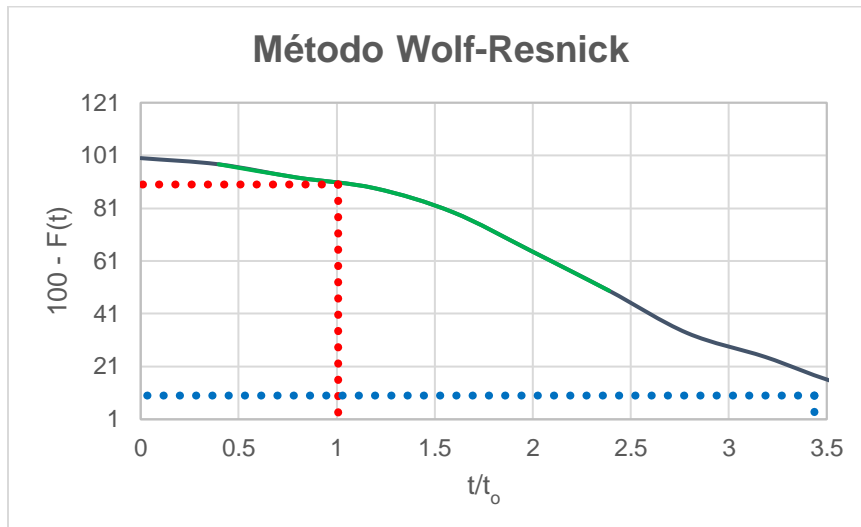
Curva de tendencia, floculador 1



Método Wolf - Resnick, Floculador 1



Método Wolf - Resnick 2, Floculador 1



Floculador (cámaras iniciales)

Unidad:	Floculador (Cámaras Iniciales)		Volumen por Cámara (V_C):	2,188	m³
Caudal (Q):	72,61	L/s	Área por Cámara (A_C):	3,4969	m ²
Volumen (V):	32,82	m ³	Profundidad media (H):	0,625697	m
TRH Teórico (t_0):	7,5333976	min	Diámetro Curvas (D):	340	mm
Tiempo Pico (TP):	21	min	Velocidad en los Pasajes (U):	0,79974	m/s
Tiempo 50%:	21,75	min	Coeficiente de Forma (K):	1,9	m
N° Cámaras	15	unidades	Pérdida de Carga por Cámara (h_c):	0,061937	m
Temperatura Agua	25	°C	Pérdida de Carga Total (h):	0,929059	m
ρ	998,68	kg/m ³	Gradiente de Velocidad (G):	143,4191	s ⁻¹
μ	0,000979	Ns/m ²	Gradiente de Velocidad Pico (Gp):	85,89991	s ⁻¹
			Gradiente de Velocidad Real (Gr):	84,40589	s ⁻¹

Temperatura Floculador 1

Temperatura (°C)	$\sqrt{\gamma\mu}$
0	2,337
4	2,502
10	2,737
15	2,920
17	2,998
20	3,115
25	3,267

$$G = \sqrt{\frac{\rho g \cdot h}{\mu \cdot T}}$$

$$y_x = y_o + \frac{x - x_o}{x_1 - x_o} (y_1 - y_o)$$

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, floculador 1

t_i/t_o:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P: 49 %	Condiciones Flujo Pistón	a
t₅₀/t_o:	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M 51 : %	Condiciones Mezcla Completa	a
t_p/t_o:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m - : 106 %	Volumen Espacios Muertos	de
Eficiencia Volumétrica:	29%	F 106 m % :	Fracción Mezclada	
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	F 101 p: %	Fracción Pistón	

Floculador 2

Floculador 2

Unidad:	Floculador 2		Tiempo	10%	11,7069	min
			(T₁₀):			
Caudal (Q):	104,52	L/s	Tiempo	Medio	62,31481	min
			(T₅₀):			
Volumen (V):	32,82	m ³	Tiempo	90% (T ₉₀):	84,22768	min
Concentración Inicial (C₀):	88	ms/cm	t _i /t ₀ :		0	
TRH Teórico (t₀):	5,233448	min	t ₅₀ /t ₀ :		11,90703	
Tiempo Inicial (t_i):	0	min	t _p /t ₀ :		5,159122	
Tiempo Pico (t_p):	27	min	t ₉₀ /t ₁₀ :		7,194706	
Tiempo Final (t_F):	48	min	e:		-1,14647	

Tiempos teórico floculador 2

t₁/t₀:	2,236937528	P:	27%
t₂/t₀:	16,0941078	M:	73%
tan(θ):	0,072164806	m:	-726%
σ:	2,236937528	F _m :	603%
		F _p :	224%

Tiempos

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	3	96,4	0,573236	8,4	8,4	2,496285	97,50371
3	6	96,7	1,146472	8,7	17,1	5,081724	94,91828
4	9	95,2	1,719707	7,2	24,3	7,221397	92,7786
5	12	96,1	2,292943	8,1	32,4	9,628529	90,37147
6	15	100	2,866179	12	44,4	13,19465	86,80535
7	18	99,2	3,439415	11,2	55,6	16,52303	83,47697
8	21	125,4	4,012651	37,4	93	27,63744	72,36256
9	24	116,8	4,585887	28,8	121,8	36,19614	63,80386
10	27	221,2	5,159122	133,2	255	75,78009	24,21991
11	30	100,5	5,732358	12,5	267,5	79,4948	20,5052

12	33	102	6,305594	14	281,5	83,65527	16,34473
13	36	102,2	6,87883	14,2	295,7	87,87519	12,12481
14	39	103,1	7,452066	15,1	310,8	92,36256	7,637444
15	42	99,4	8,025302	11,4	322,2	95,75037	4,249629
16	45	96	8,598537	8	330,2	98,12779	1,872214
17	48	94,3	9,171773	6,3	336,5	100	0
18	51	93,6	9,745009	5,6	5,6	1,66419	98,33581
19	54	90	10,31824	2	2	0,594354	99,40565
20	57	88,2	10,89148	0,2	0,2	0,059435	99,94056
21	60						

Sentido del gráfico, floculador 2

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
Nombre del Gráfico	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	5,233448	-0,69652	5,233448	-0,69652
	5,233448	0	0	-0,69652
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	27	133,2	27	133,2
	27	0	0	133,2
Tiempo 10% (T10):	11,7069	9,27069	11,7069	9,27069
	11,7069	0	0	9,27069
Tiempo Medio (T50):	62,31481	23,19444	62,31481	23,19444
	62,31481	0	0	23,19444
Tiempo 90% (T90):	84,22768	-6,46071	84,22768	-6,46071
	84,22768	0	0	-6,46071
Tiempo Final (tF):	48	6,3	48	6,3
	48	0	0	6,3
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	2,236938	90	2,236938	90
	2,236938	0	0	90
t2/tO:	16,09411	10	16,09411	10
	16,09411	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morril y Método Wolff – Resnick, floculador 2

t_i/t_o:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO	P 27	Condiciones	a
	CIRCUITO HIDRÁULICO	: %	Flujo Pistón	

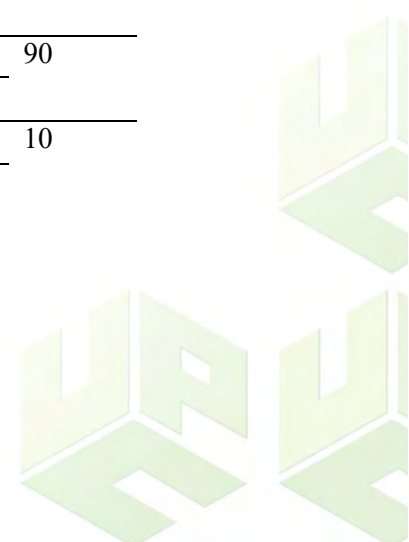
t₅₀/t₀:	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M	73	Condiciones a
		:	%	Mezcla Completa
t_p/t₀:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m	-	Volumen de
		:	72	Espacios Muertos
			6%	
Eficiencia Volumétrica:	14%	F	60	Fracción
		m	3%	Mezclada
		:		
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	F	22	Fracción Pistón
		p:	4%	

Límites 1, floculador 2

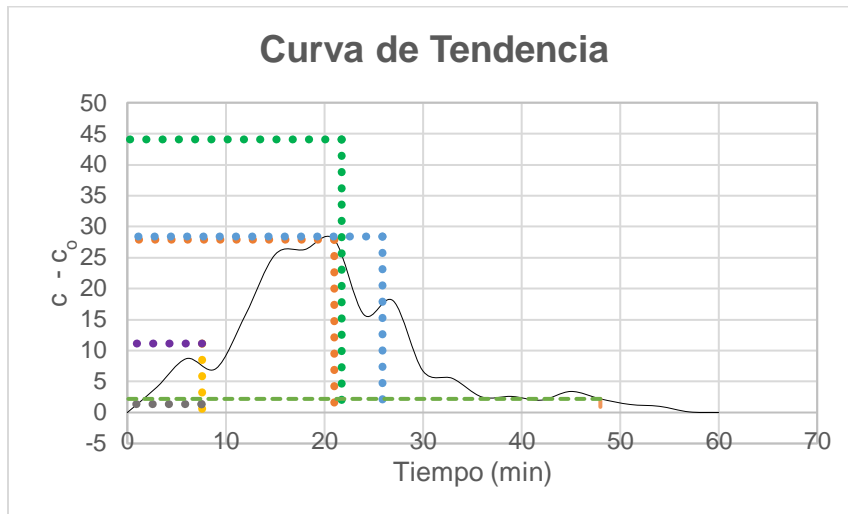
	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	5,081724	6	10
Límite Inferior:	2,496285	3	
Límite Superior:	9,628529	12	50
Límite Inferior:	7,221397	9	
Límite Superior:	16,52303	18	90
Límite Inferior:	13,19465	15	

Límites 2, floculador 2

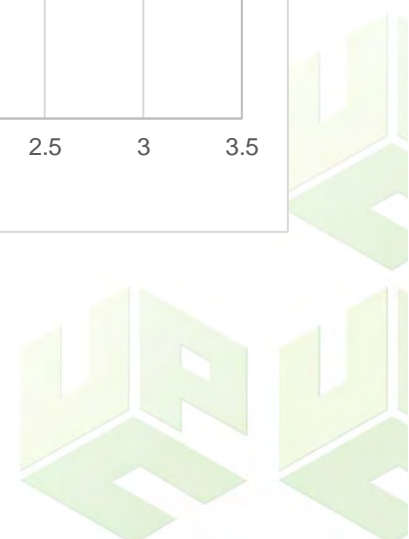
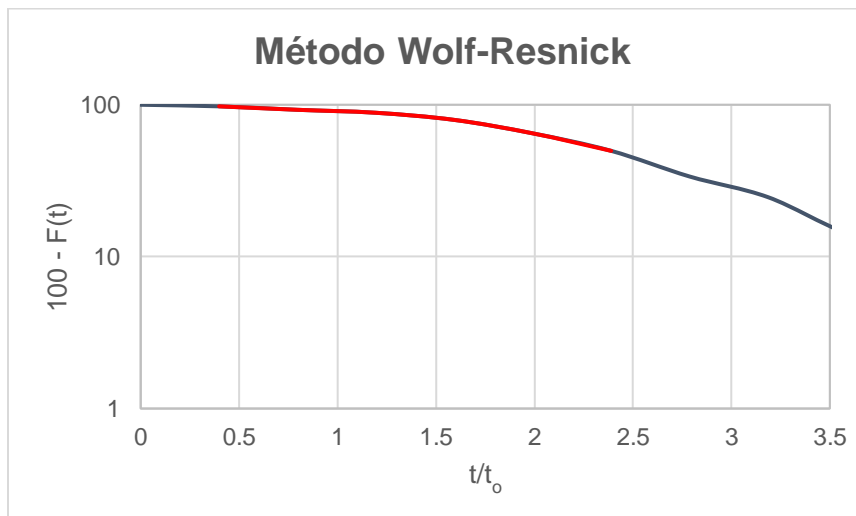
	100 - t/t₀	F(t)	
Límite Superior:	94,91828	1,146472	90
Límite Inferior:	97,50371	0,573236	
Límite Superior:	83,47697	3,439415	10
Límite Inferior:	86,80535	2,866179	



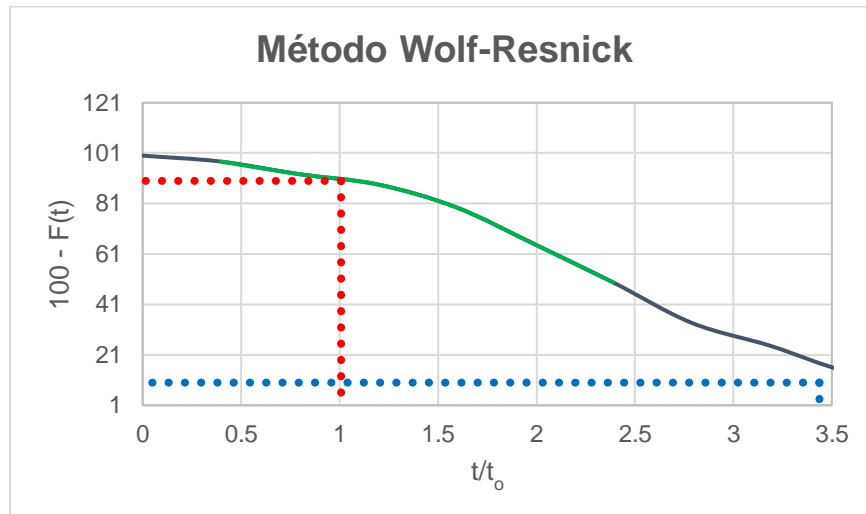
Curva de tendencia, Floculador 2



Método Wolf – Resnick 1, floculador 2



Método Wolf – Resnick 2, floculador 2



Floculador 2 (cámaras iniciales)

Unidad:	Floculador 2		Volumen por Cámara (V_C):	2,188	m³
Caudal (Q):	104,52	L/s	Área por Cámara (A_C):		m²
Volumen (V):	32,82	m ³	Profundidad media (H):	#¡DIV/0!	m
TRH Teórico (t_0):	5,233448	min	Diámetro Curvas (D):		mm
Tiempo Pico (TP):	27	min	Velocidad en los Pasajes (U):	#¡DIV/0!	m/s
Nº Cámaras	15	unidades	Coefficiente de Forma (K):		m
Temperatura Agua	25	°C	Pérdida de Carga por Cámara (h_C):	#¡DIV/0!	m
ρ		kg/m ³	Pérdida de Carga Total (h):	#¡DIV/0!	m
μ		Ns/m ²	Gradiente de Velocidad (G):	#¡DIV/0!	s⁻¹
			Gradiente de Velocidad Real (G):	#¡DIV/0!	s⁻²

Floculador 3



Tabla 20.

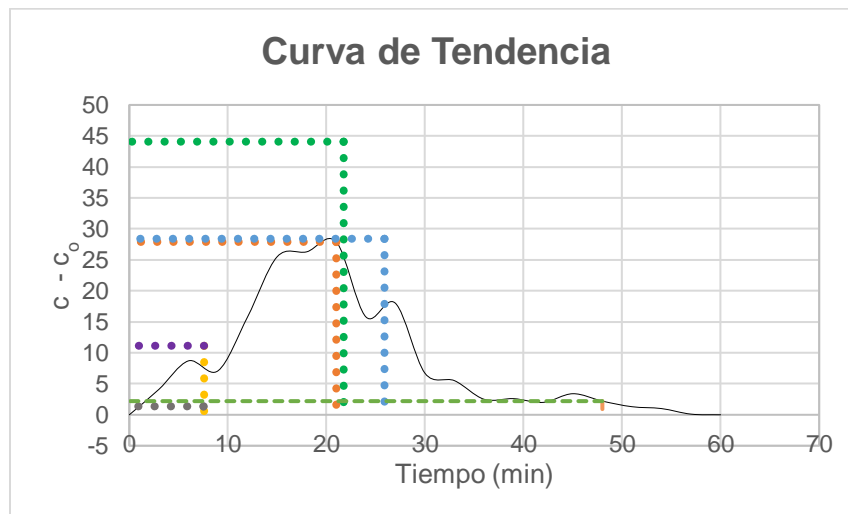
Límites 1, Floculador 3

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	17,46914	6	10
Límite Inferior:	8,024691	3	
Límite Superior:	37,22222	12	50
Límite Inferior:	29,62963	9	
Límite Superior:	61,41975	21	90
Límite Inferior:	53,88889	18	

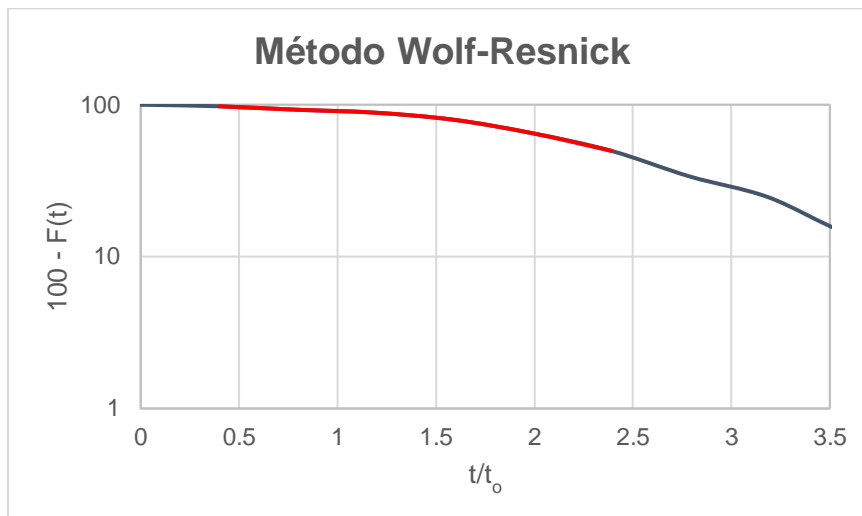
Límites 2, Floculador 3

	100	- t/to	
	F(t)		
Límite Superior:	82,53086	0,81159	90
Límite Inferior:	91,97531	0,405795	
Límite Superior:	38,58025	2,840567	10
Límite Inferior:	46,11111	2,434771	

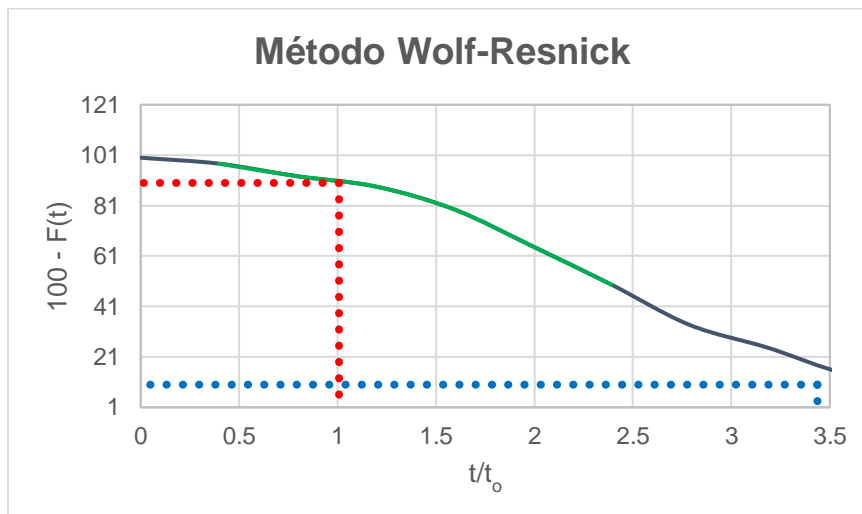
Curva de tendencia, floculador 3



Método Wolf - Resnick 1, Floculador 3



Método Wolf - Resnick 2, Floculador 3



Floculador 3 (cámaras iniciales)

Unidad:	Floculador 3	
Caudal (Q):	73,99	L/s
Volumen (V):	32,82	m ³
TRH Teórico (t ₀):	7,392891	min

Tiempo (TP):	Pico	9	min
Nº Cámaras		15	unidades
Temperatura Agua		25	°C
ρ			kg/m ³
μ			Ns/m ²

Floculador 4

Floculador 4

Unidad:	Floculador 4		Tiempo 10% (T₁₀):	3,564912 min
Caudal (Q):	68,27	L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	19,57241 min
Volumen (V):	32,82	m ³	Tiempo 90% (T ₉₀):	28,42571 min
Concentración Inicial (C₀):	88	ms/cm	t _i /t ₀ :	0
TRH Teórico (t₀):	8,012304	min	t ₅₀ /t ₀ :	2,442795
Tiempo Inicial (t_i):	0	min	t _p /t ₀ :	1,872121
Tiempo Pico (t_p):	15	min	t ₉₀ /t ₁₀ :	7,973749
Tiempo Final (t_f):	48	min	e:	2,246545

Tiempos teóricos, Floculador 4

t₁/t₀:	0,444929728	P:	25%
t₂/t₀:	3,547757796	M:	75%
tan(θ):	0,32228663	m:	-79%
θ:	0,444929728	Fm:	135%
		Fp:	44%

Tiempos, floculador 4

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t₀	C - C₀	∑(C - C₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100

2	3	104,8	0,374424	16,8	16,8	8,391608	91,60839
3	6	105,1	0,748848	17,1	33,9	16,93307	83,06693
4	9	103,1	1,123272	15,1	49	24,47552	75,52448
5	12	102,5	1,497697	14,5	63,5	31,71828	68,28172
6	15	110,7	1,872121	22,7	86,2	43,05694	56,94306
7	18	109	2,246545	21	107,2	53,54645	46,45355
8	21	109,9	2,620969	21,9	129,1	64,48551	35,51449
9	24	108,3	2,995393	20,3	149,4	74,62537	25,37463
10	27	105,9	3,369817	17,9	167,3	83,56643	16,43357
11	30	98,3	3,744241	10,3	177,6	88,71129	11,28871
12	33	94,8	4,118665	6,8	184,4	92,10789	7,892108
13	36	92,5	4,49309	4,5	188,9	94,35564	5,644356
14	39	90	4,867514	2	190,9	95,35465	4,645355
15	42	91	5,241938	3	193,9	96,85315	3,146853
16	45	92,1	5,616362	4,1	198	98,9011	1,098901
17	48	90,2	5,990786	2,2	200,2	100	0
18	51	89,6	6,36521	1,6	1,6	0,799201	99,2008
19	54	89	6,739634	1	1	0,4995	99,5005
20	57	88,4	7,114059	0,4	0,4	0,1998	99,8002
21	60						

Sentido del gráfico, Flocculador 4

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
Nombre del Gráfico	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	8,012304	3,600298	8,012304	3,600298
	8,012304	0	0	3,600298
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	15	22,7	15	22,7
	15	0	0	22,7
Tiempo 10% (T10):	3,564912	16,85649	3,564912	16,85649
	3,564912	0	0	16,85649
Tiempo Medio (T50):	19,57241	12,98552	19,57241	12,98552
	19,57241	0	0	12,98552
Tiempo 90% (T90):	28,42571	15,0921	28,42571	15,0921
	28,42571	0	0	15,0921
Tiempo Final (tF):	48	2,2	48	2,2
	48	0	0	2,2
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	0,44493	90	0,44493	90

	0,44493	0	0	90
t₂/t_O:	3,547758	10	3,547758	10
	3,547758	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, floculador 4

t_i/t_O:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	25 %	Condiciones a Flujo Pistón
t₅₀/t_O:	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M	75 %	Condiciones a Mezcla Completa
t_p/t_O:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m	- 79 %	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	13%	F	13 5% %	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	F	44 %	Fracción Pistón

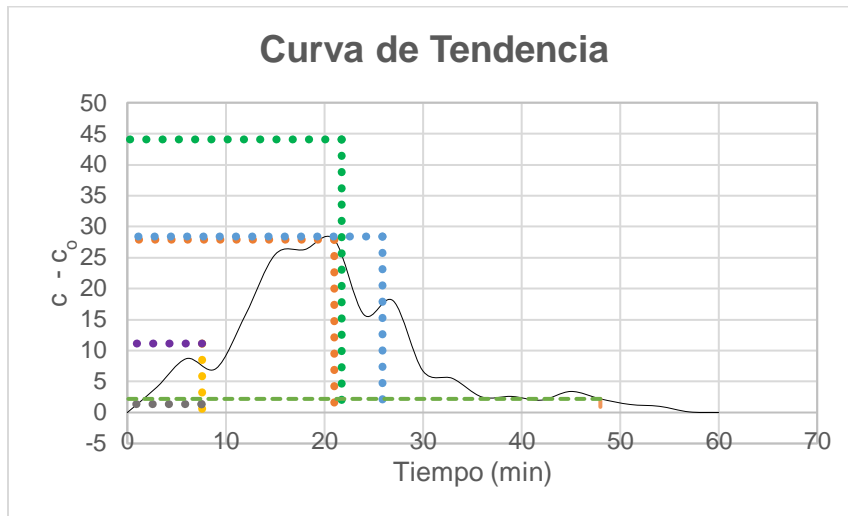
Límites 1, Floculador 4

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	16,93307	6	10
Límite Inferior:	8,391608	3	
Límite Superior:	31,71828	12	50
Límite Inferior:	24,47552	9	
Límite Superior:	53,54645	18	90
Límite Inferior:	43,05694	15	

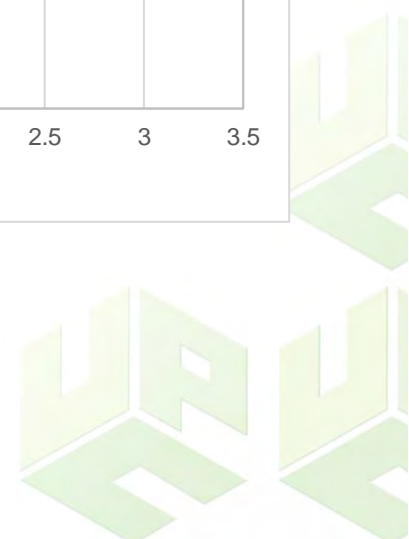
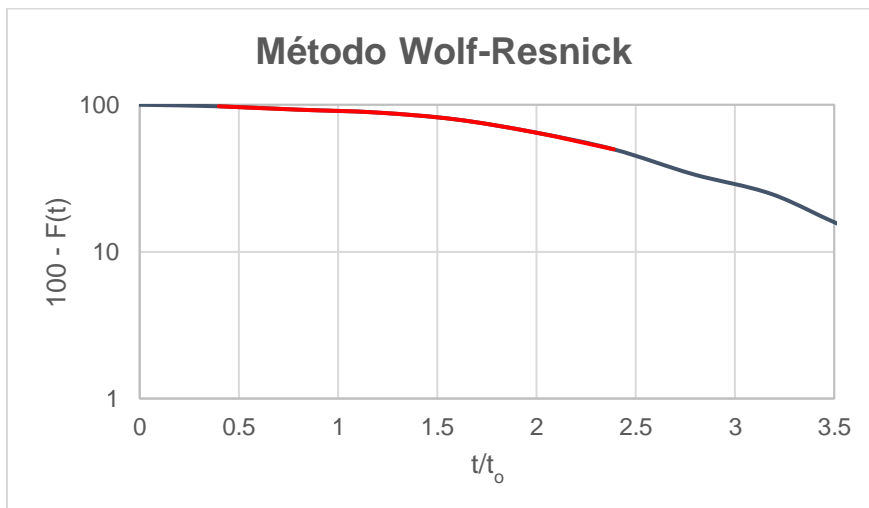
Límites 2, Floculador 4

	100 F(t)	- t/t_O	
Límite Superior:	83,06693	0,748848	90
Límite Inferior:	91,60839	0,374424	
Límite Superior:	46,45355	2,246545	10
Límite Inferior:	56,94306	1,872121	

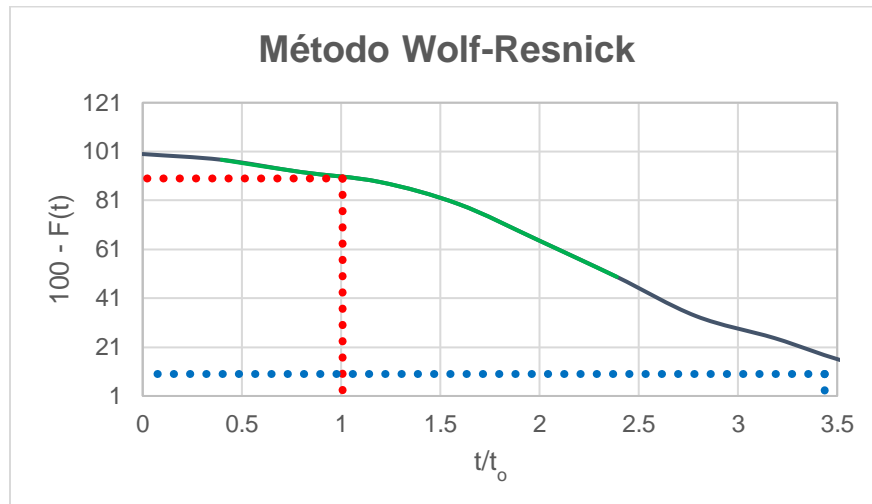
Curva de tendencia, Floculador 4



Método Wolf - Resnick



Método Wolf - Resnick 2, Floculador 4



Floculador 4 (cámaras iniciales)

Unidad:	Floculador 4	
Caudal (Q):	68,27	L/s
Volumen (V):	32,82	m ³
TRH Teórico (t₀):	8,012304	min
Tiempo Pico (TP):	15	min
Nº Cámaras	15	unidades
Temperatura Agua	25	°C
ρ		kg/m ³
μ	0,000979	Ns/m ²

Floculador 5

Floculador 5

Unidad:	Floculador 5		Tiempo 10% (T₁₀):	4,706087	min
Caudal (Q):	337,79	L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	22,0292	min
Volumen (V):	32,82	m ³	Tiempo 90% (T ₉₀):	31,9118	min

Concentración Inicial (C₀):	88	ms/cm	t _i /t ₀ :	0
TRH Teórico (t₀):	1,619349	min	t ₅₀ /t ₀ :	13,60373
Tiempo Inicial (t_i):	0	min	t _p /t ₀ :	12,96817
Tiempo Pico (t_p):	21	min	t ₉₀ /t ₁₀ :	6,780963
Tiempo Final (t_f):	48	min	e:	3,705192

Tiempos teóricos, Floculador 5

t₁/t₀:	2,906159256	P:	28%
t₂/t₀:	19,70655821	M:	72%
tan(θ):	0,059522396	m:	-921%
θ:	2,906159256	F _m :	731%
		F _p :	291%

Tiempos, Floculador 5

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	∑(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	3	98,7	1,852596	10,7	10,7	5,866228	94,13377
3	6	100,5	3,705192	12,5	23,2	12,7193	87,2807
4	9	99,5	5,557788	11,5	34,7	19,02412	80,97588
5	12	98,7	7,410384	10,7	45,4	24,89035	75,10965
6	15	101,7	9,26298	13,7	59,1	32,40132	67,59868
7	18	110,7	11,11558	22,7	81,8	44,84649	55,15351
8	21	111,8	12,96817	23,8	105,6	57,89474	42,10526
9	24	104,1	14,82077	16,1	121,7	66,72149	33,27851
10	27	107	16,67336	19	140,7	77,13816	22,86184
11	30	108,8	18,52596	20,8	161,5	88,54167	11,45833
12	33	93	20,37856	5	166,5	91,28289	8,717105
13	36	94,3	22,23115	6,3	172,8	94,73684	5,263158
14	39	90,7	24,08375	2,7	175,5	96,21711	3,782895
15	42	91,8	25,93634	3,8	179,3	98,30044	1,699561
16	45	89	27,78894	1	180,3	98,84868	1,151316
17	48	90,1	29,64154	2,1	182,4	100	0

18	51	88,5	31,49413	0,5	0,5	0,274123	99,72588
19	54	88,2	33,34673	0,2	0,2	0,109649	99,89035
20	57	88,1	35,19932	0,1	0,1	0,054825	99,94518
21	60						

Sentido del gráfico, Floculador 5

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
Nombre del Gráfico	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	1,619349	0,319349	1,619349	0,319349
	1,619349	0	0	0,319349
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	21	23,8	21	23,8
	21	0	0	23,8
Tiempo 10% (T10):	4,706087	11,72365	4,706087	11,72365
	4,706087	0	0	11,72365
Tiempo Medio (T50):	22,0292	3,670803	22,0292	3,670803
	22,0292	0	0	3,670803
Tiempo 90% (T90):	31,9118	-4,20696	31,9118	-4,20696
	31,9118	0	0	-4,20696
Tiempo Final (tF):	48	2,1	48	2,1
	48	0	0	2,1
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	2,906159	90	2,906159	90
	2,906159	0	0	90
t2/tO:	19,70656	10	19,70656	10
	19,70656	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, floculador 5

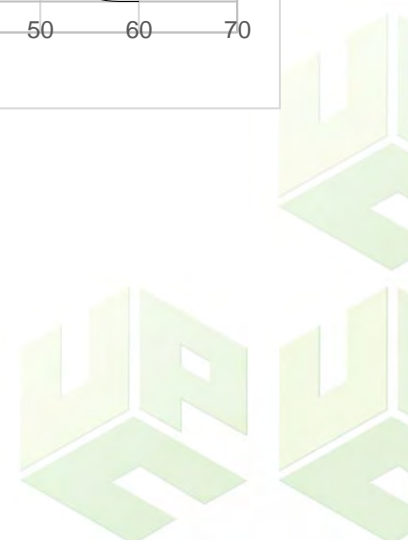
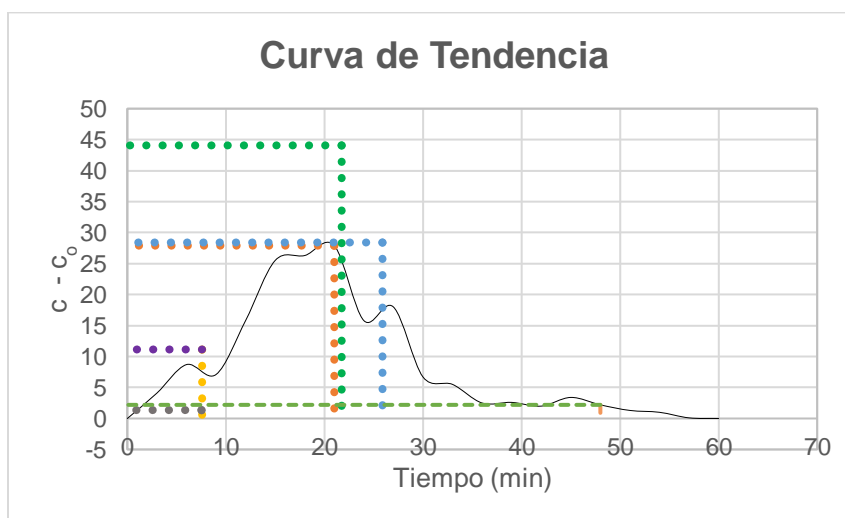
t_i/t_o:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO	P: 28	Condiciones	a
	CIRCUITO HIDRÁULICO	%	Flujo Pistón	
t₅₀/t_o:	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M 72	Condiciones	a
		: %	Mezcla Completa	
t_p/t_o:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m -	Volumen	de
		: 921	Espacios Muertos	
		%		
Eficiencia Volumétrica:	15%	F 731	Fracción	
		m %	Mezclada	
		:		

Excentricidad de la Curva: FLUJO MEZCLADO IDEAL F 291 Fracción Pistón
p: %

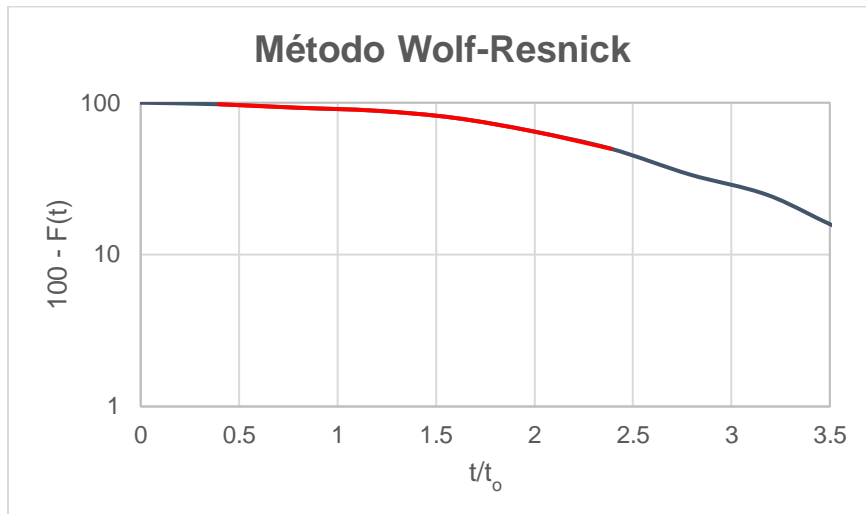
Límites 2, Floculador 5

	100	-	t/to
	F(t)		
Límite Superior:	80,97588	5,557788	90
Límite Inferior:	87,2807	3,705192	
Límite Superior:	33,27851	14,82077	10
Límite Inferior:	42,10526	12,96817	

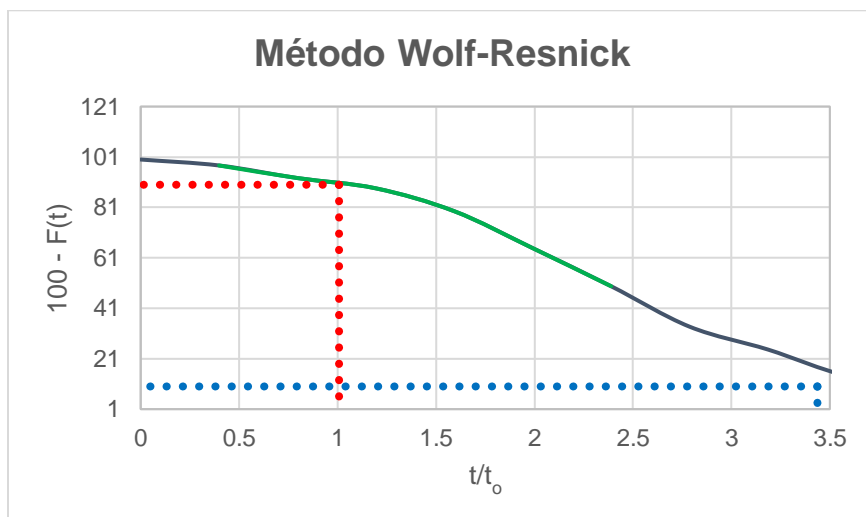
Curva de Tendencia, Floculador 5



Método Wolf – Resnick 1, floculador 5



Método Wolf – Resnick 2, floculador 5



Floculador 5 (cámaras iniciales)

Límites 1, Floculador 5

F(t) t (min)

Límite Superior:	19,02412	9	10
Límite Inferior:	12,7193	6	
Límite Superior:	32,40132	15	50
Límite Inferior:	24,89035	12	
Límite Superior:	66,72149	24	90
Límite Inferior:	57,89474	21	

Floculador 6

Floculador 6

Unidad:	Floculador 6		Tiempo 10% (T₁₀):	4,345082 min
Caudal (Q):	187,34	L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	16,38889 min
Volumen (V):	32,82	m ³	Tiempo 90% (T ₉₀):	23,34392 min
Concentración Inicial (C₀):	88	ms/cm	t _i /t ₀ :	0
TRH Teórico (t₀):	2,919825	min	t ₅₀ /t ₀ :	5,61297
Tiempo Inicial (t_i):	0	min	t _p /t ₀ :	7,192212
Tiempo Pico (t_p):	21	min	t ₉₀ /t ₁₀ :	5,372492
Tiempo Final (t_f):	48	min	e:	2,054918

Tiempos teóricos, Floculador 6

t ₁ /t ₀ :	1,488130998	P:	34%
t ₂ /t ₀ :	7,994971471	M:	66%
tan(θ):	0,153684419	m:	-332%
ø:	1,488130998	Fm:	283%
		Fp:	149%

Tiempos, Floculador 6

N°	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	∑(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	3	103,2	1,027459	15,2	15,2	7,353653	92,64635
3	6	100,2	2,054918	12,2	27,4	13,25593	86,74407

4	9	104,1	3,082377	16,1	43,5	21,04499	78,95501
5	12	112,3	4,109835	24,3	67,8	32,80116	67,19884
6	15	114,6	5,137294	26,6	94,4	45,67005	54,32995
7	18	119,6	6,164753	31,6	126	60,95791	39,04209
8	21	121,7	7,192212	33,7	159,7	77,26173	22,73827
9	24	101	8,219671	13	172,7	83,55104	16,44896
10	27	99,8	9,24713	11,8	184,5	89,2598	10,7402
11	30	90,8	10,27459	2,8	187,3	90,61442	9,385583
12	33	91,7	11,30205	3,7	191	92,40445	7,595549
13	36	91	12,32951	3	194	93,85583	6,14417
14	39	92	13,35697	4	198	95,791	4,208999
15	42	91,4	14,38442	3,4	201,4	97,4359	2,564103
16	45	90	15,41188	2	203,4	98,40348	1,596517
17	48	91,3	16,43934	3,3	206,7	100	0
18	51	89	17,4668	1	1	0,483793	99,51621
19	54	89,3	18,49426	1,3	1,3	0,628931	99,37107
20	57	88,3	19,52172	0,3	0,3	0,145138	99,85486
21	60						

Sentido del gráfico, Floculador 6

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
Nombre del Gráfico	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	2,919825	21,04388	2,919825	21,04388
	2,919825	0	0	21,04388
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	21	33,7	21	33,7
	21	0	0	33,7
Tiempo 10% (T10):	4,345082	13,85492	4,345082	13,85492
	4,345082	0	0	13,85492
Tiempo Medio (T50):	16,38889	36,2963	16,38889	36,2963
	16,38889	0	0	36,2963
Tiempo 90% (T90):	23,34392	35,34074	23,34392	35,34074
	23,34392	0	0	35,34074
Tiempo Final (tF):	48	3,3	48	3,3
	48	0	0	3,3
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	1,488131	90	1,488131	90
	1,488131	0	0	90

t₂/t₀:	7,994971	10	7,994971	10
	7,994971	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, floculador 6

t_i/t₀:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P: 34 %	Condiciones Flujo Pistón	a
t₅₀/t₀:	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M 66 : %	Condiciones Mezcla Completa	a
t_p/t₀:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m - : 332 %	Volumen Espacios Muertos	de
Eficiencia Volumétrica:	19%	F 283 m : %	Fracción Mezclada	
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	F 149 p: %	Fracción Pistón	

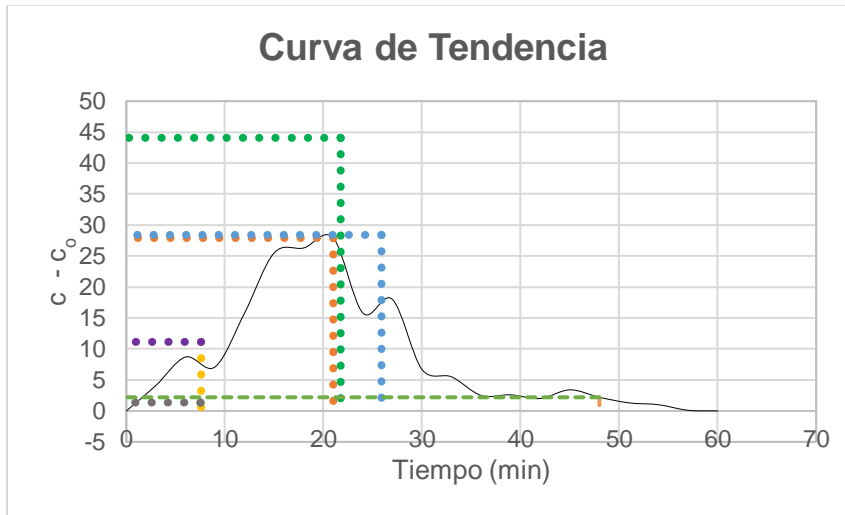
Límites 1, floculador 6

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	13,25593	6	10
Límite Inferior:	7,353653	3	
Límite Superior:	32,80116	12	50
Límite Inferior:	21,04499	9	
Límite Superior:	77,26173	21	90
Límite Inferior:	60,95791	18	

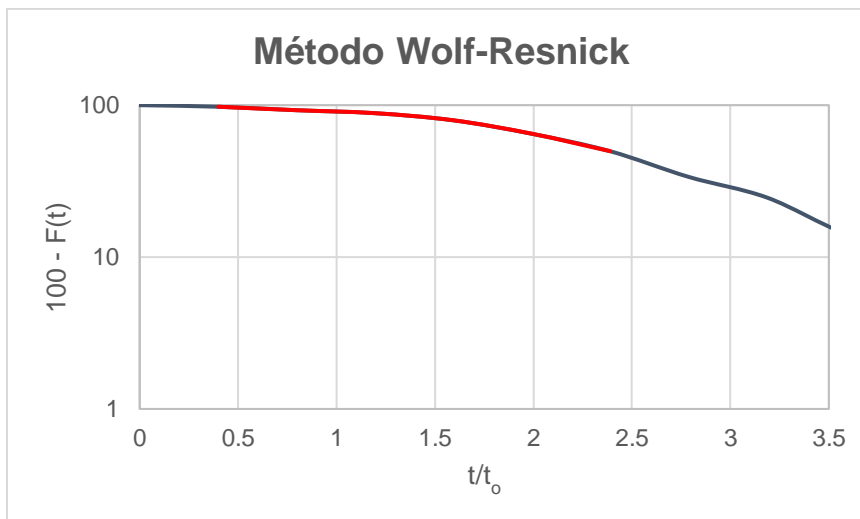
Límites 2, Floculador 6

	100 F(t)	- t/to	
Límite Superior:	86,74407	2,054918	90
Límite Inferior:	92,64635	1,027459	
Límite Superior:	22,73827	7,192212	10
Límite Inferior:	39,04209	6,164753	

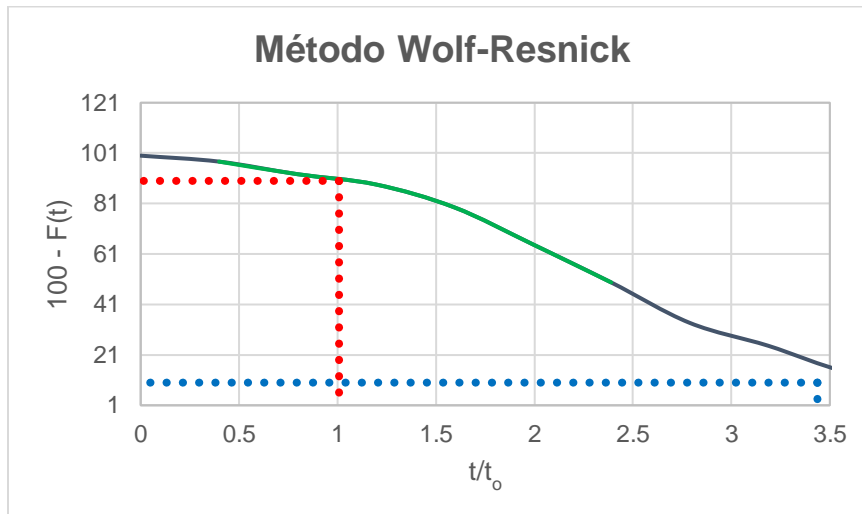
Curva de tendencia, Floculador 6



Método Wolf – Resnick 1, Floculador 6



Método Wolf – Resnick 2, Floculador 6



Floculador 6 (cámaras iniciales)

Floculador 7

Floculador 7

Unidad:	Floculador 7	Tiempo	10%	5,809565	min
Caudal (Q):	546,93	L/s	Tiempo	Medio	20,32377
Volumen (V):	32,82	m ³	Tiempo	90% (T₉₀):	27,04714
Concentración Inicial (C₀):	88	mg/cm	t_i/t₀:		0
TRH Teórico (t₀):	1,000128	min	t₅₀/t₀:		20,32117
Tiempo Inicial (t_i):	0	min	t_p/t₀:		20,99731
Tiempo Pico (t_p):	21	min	t₉₀/t₁₀:		4,655623
Tiempo Final (t_F):	48	min	e:		5,999232

Tiempos teóricos, Floculador 7

t₁/t₀:	5,808821763	P:	39%
t₂/t₀:	27,04368161	M:	61%
tan(θ):	0,047092376	m:	- 1405%
θ:	5,808821763	Fm:	924%
		Fp:	581%

Tiempos, Floculador 7

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	∑(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	3	95,2	2,999616	7,2	7,2	4,941661	95,05834
3	6	96,1	5,999232	8,1	15,3	10,50103	89,49897
4	9	99,5	8,998848	11,5	26,8	18,39396	81,60604
5	12	100,2	11,99846	12,2	39	26,76733	73,23267
6	15	102,5	14,99808	14,5	53,5	36,71929	63,28071
7	18	102,3	17,9977	14,3	67,8	46,53397	53,46603
8	21	109	20,99731	21	88,8	60,94715	39,05285
9	24	104	23,99693	16	104,8	71,92862	28,07138
10	27	99,4	26,99654	11,4	116,2	79,75292	20,24708
11	30	95,7	29,99616	7,7	123,9	85,03775	14,96225
12	33	96,3	32,99578	8,3	132,2	90,73439	9,265614
13	36	93,8	35,99539	5,8	138	94,71517	5,284832
14	39	90,1	38,99501	2,1	140,1	96,15649	3,843514
15	42	89,2	41,99463	1,2	141,3	96,9801	3,019904
16	45	90	44,99424	2	143,3	98,35278	1,64722
17	48	90,4	47,99386	2,4	145,7	100	0
18	51	89,9	50,99347	1,9	1,9	1,304049	98,69595
19	54	88,6	53,99309	0,6	0,6	0,411805	99,58819
20	57	88	56,99271	0	0	0	100
21	60						

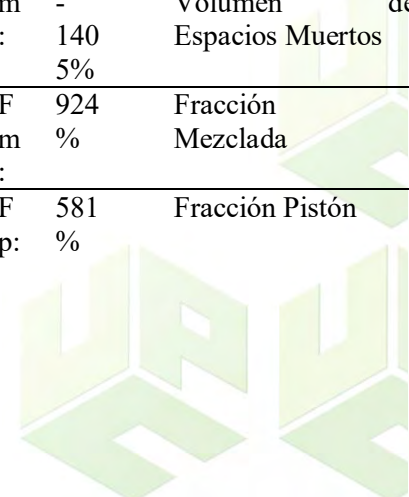
Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morril y Método Wolff – Resnick, floculador 7

Sentido del Gráfico	Vertical	Horizontal
Nombre del Gráfico	t (min) C - Co	t (min) C - Co

TRH Teórico (tO):	1,000128	15,43332	1,000128	15,43332
	1,000128	0	0	15,43332
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	21	21	21	21
	21	0	0	21
Tiempo 10% (T10):	5,809565	7,884174	5,809565	7,884174
	5,809565	0	0	7,884174
Tiempo Medio (T50):	20,32377	14,14221	20,32377	14,14221
	20,32377	0	0	14,14221
Tiempo 90% (T90):	27,04714	34,50529	27,04714	34,50529
	27,04714	0	0	34,50529
Tiempo Final (tF):	48	2,4	48	2,4
	48	0	0	2,4
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	5,808822	90	5,808822	90
	5,808822	0	0	90
t2/tO:	27,04368	10	27,04368	10
	27,04368	0	0	10

Tiempos teóricos, Floculador 7

t_i/t_o:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P: 39 %	Condiciones a Flujo Pistón
t₅₀/t_o:	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M 61%	Condiciones a Mezcla Completa
t_p/t_o:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m - : 140 5%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	21%	F 924 m % :	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	FLUJO MEZCLADO IDEAL	F 581 p: %	Fracción Pistón



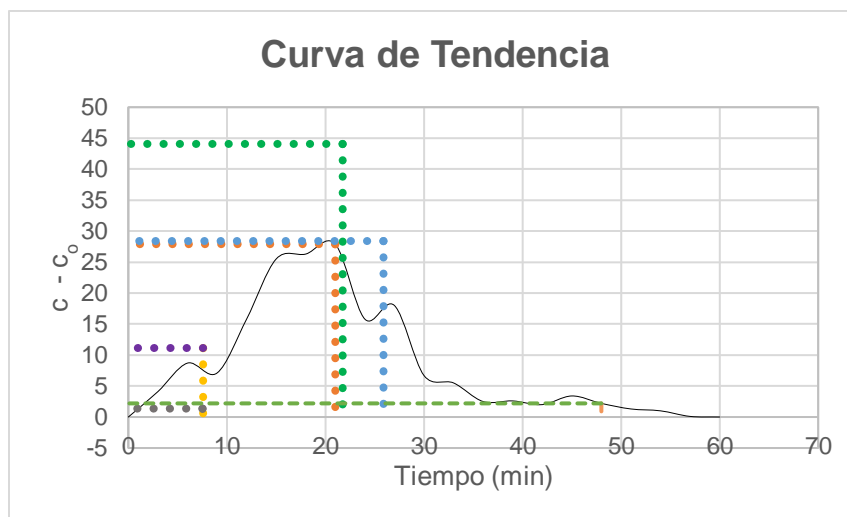
Límites 1, Flocculador 7

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	18,39396	9	10
Límite Inferior:	10,50103	6	
Límite Superior:	26,76733	12	50
Límite Inferior:	18,39396	9	
Límite Superior:	60,94715	21	90
Límite Inferior:	46,53397	18	

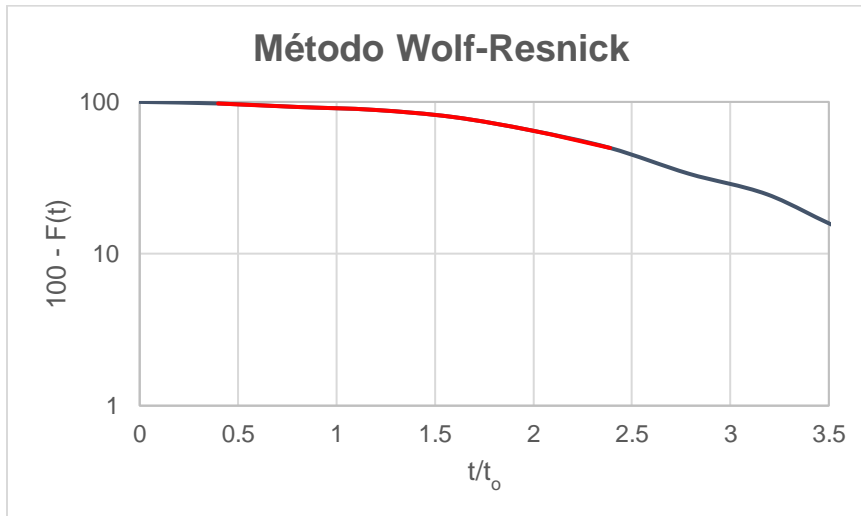
Límites 2, Flocculador 7

	100 - F(t)	t/to	
Límite Superior:	81,60604	8,998848	90
Límite Inferior:	89,49897	5,999232	
Límite Superior:	39,05285	20,99731	10
Límite Inferior:	53,46603	17,9977	

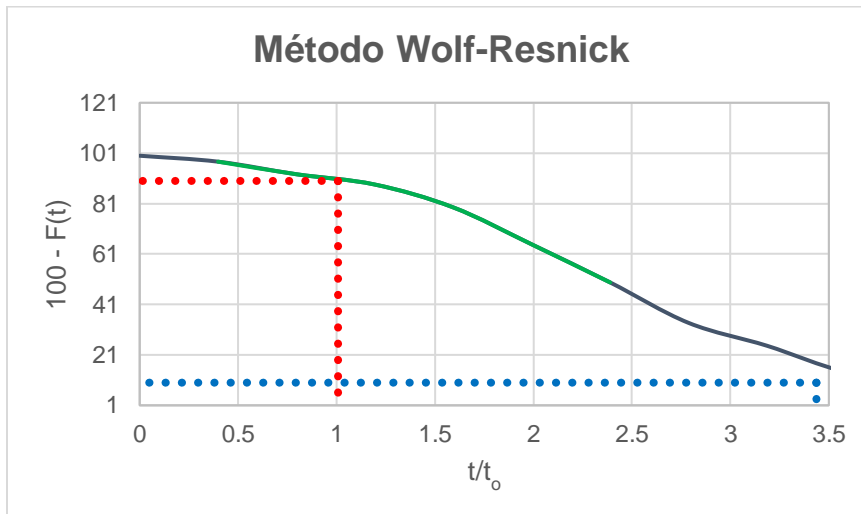
Curva de tendencia, Flocculador 7



Método - Wolf - Resnick 1, Floculador 7

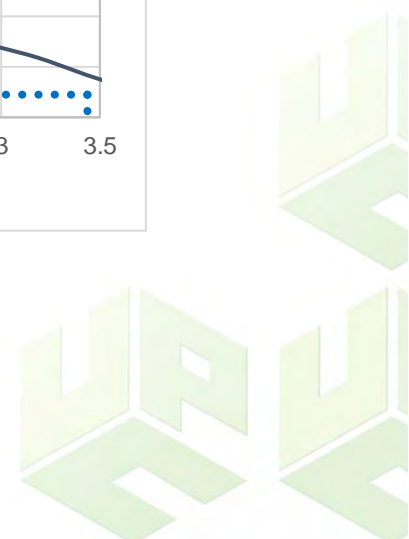


Método - Wolf - Resnick 2, Floculador 7



Floculador 7 (cámaras iniciales)

Floculador 8



Floculador 8

Unidad:	Floculador 1	Tiempo 10% (T₁₀):	4,007339 min
Caudal (Q):	110,56 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	18,39024 min
Volumen (V):	32,82 m ³	Tiempo 90% (T ₉₀):	29,49023 min
Concentración Inicial (C₀):	88 ms/cm	t _i /t ₀ :	0
TRH Teórico (t₀):	4,94754 min	t ₅₀ /t ₀ :	3,717048
Tiempo Inicial (t_i):	0 min	t _p /t ₀ :	3,03181
Tiempo Pico (t_p):	15 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	7,359054
Tiempo Final (t_f):	48 min	e:	3,638172

Tiempos teóricos, Floculador 8

t₁/t₀:	0,809966087	P:	27%
t₂/t₀:	5,9605838	M:	73%
tan(θ):	0,19415147	m:	-205%
θ:	0,809966087	Fm:	224%
		Fp:	81%

Tiempos, Floculador 8

N°	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	3	98,4	0,606362	10,4	10,4	7,344633	92,65537
3	6	99	1,212724	11	21,4	15,11299	84,88701
4	9	98,9	1,819086	10,9	32,3	22,81073	77,18927
5	12	100,3	2,425448	12,3	44,6	31,49718	68,50282
6	15	104,1	3,03181	16,1	60,7	42,86723	57,13277
7	18	103,8	3,638172	15,8	76,5	54,02542	45,97458
8	21	101,3	4,244534	13,3	89,8	63,41808	36,58192
9	24	100	4,850896	12	101,8	71,89266	28,10734
10	27	99,7	5,457258	11,7	113,5	80,15537	19,84463

11	30	93,2	6,06362	5,2	118,7	83,82768	16,17232
12	33	95	6,669982	7	125,7	88,77119	11,22881
13	36	94,1	7,276344	6,1	131,8	93,0791	6,920904
14	39	93,2	7,882706	5,2	137	96,75141	3,248588
15	42	89,4	8,489068	1,4	138,4	97,74011	2,259887
16	45	89	9,09543	1	139,4	98,44633	1,553672
17	48	90,2	9,701792	2,2	141,6	100	0
18	51	90	10,30815	2	2	1,412429	98,58757
19	54	88,1	10,91452	0,1	0,1	0,070621	99,92938
20	57	88	11,52088	0	0	0	100
21	60						

Sentido del gráfico, Floculador 8

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	4,94754	3,366884	4,94754	3,366884
	4,94754	0	0	3,366884
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	15	16,1	15	16,1
	15	0	0	16,1
Tiempo 10% (T10):	4,007339	10,60147	4,007339	10,60147
	4,007339	0	0	10,60147
Tiempo Medio (T50):	18,39024	15,28211	18,39024	15,28211
	18,39024	0	0	15,28211
Tiempo 90% (T90):	29,49023	14,65098	29,49023	14,65098
	29,49023	0	0	14,65098
Tiempo Final (tF):	48	2,2	48	2,2
	48	0	0	2,2
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	0,809966	90	0,809966	90
	0,809966	0	0	90
t2/tO:	5,960584	10	5,960584	10
	5,960584	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, floculador 8

t_i/t_o:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO	P: 27	Condiciones
	CIRCUITO HIDRÁULICO	%	Flujo Pistón

t_{50}/t_0 :	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M	73	Condiciones	a
		:	%	Mezcla Completa	
t_p/t_0 :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m	-	Volumen	de
		:	205	Espacios Muertos	
			%		
Eficiencia Volumétrica:	14%	F	224	Fracción	
		m	%	Mezclada	
		:			
Excentricidad de la Curva:	FLUJO MEZCLADO IDEAL	F	81	Fracción Pistón	
		p:	%		

Tabla 21.

Límites 1, Floculador 8

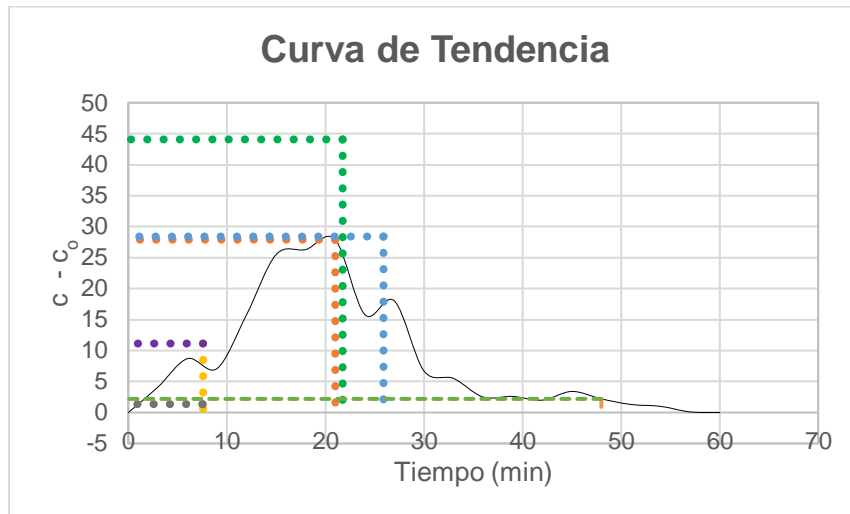
	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	22,81073	9	10
Límite Inferior:	15,11299	6	
Límite Superior:	31,49718	12	50
Límite Inferior:	22,81073	9	
Límite Superior:	63,41808	21	90
Límite Inferior:	54,02542	18	

Límites 2, Floculador 8

	100 - t/to		
	F(t)		
Límite Superior:	77,18927	1,819086	90
Límite Inferior:	84,88701	1,212724	
Límite Superior:	36,58192	4,244534	10
Límite Inferior:	45,97458	3,638172	



Curva de Tendencia, Floculador 8



Método Wolf – Resnick 1, Floculador 8

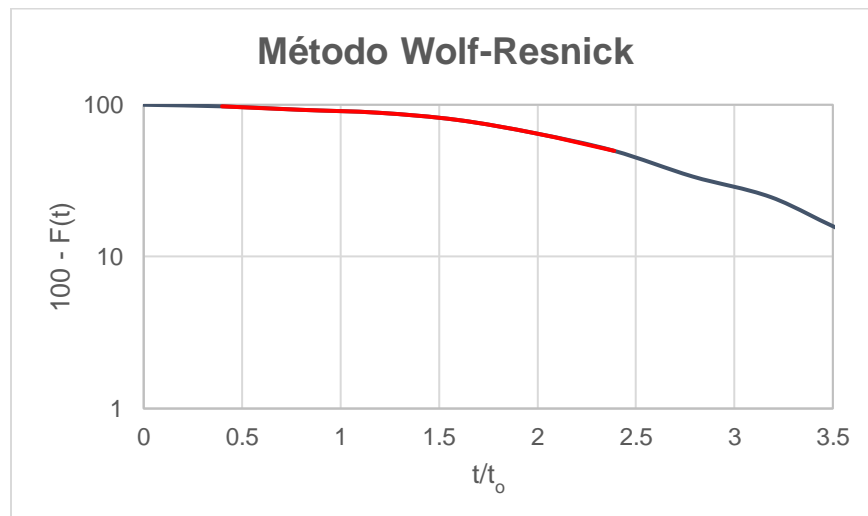
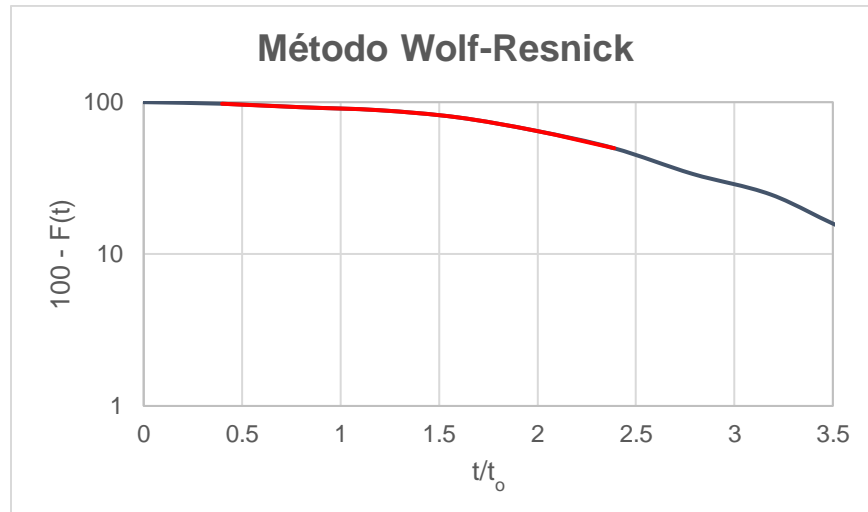


Figura 57.

Método Wolf - Resnick 2, Flocculador 8



Flocculador 8 (cámaras iniciales)

Sedimentadores

Sedimentador 1

Unidad:	Sedimentador 1	Tiempo 10% (T₁₀):	36,58554 min
Caudal (Q):	72,61 L/s	Tiempo Medio (T₅₀):	46,8014 min
Volumen (V):	391,75 m ³	Tiempo 90% (T₉₀):	66,9165 min
Concentración Inicial (C₀):	88 ms/cm	t_i/t_0 :	0
TRH Teórico (t₀):	89,92104 min	t_{50}/t_0 :	0,520472
Tiempo Inicial (t_i):	0 min	t_p/t_0 :	0,533802
Tiempo Pico (t_p):	48 min	t_{90}/t_{10} :	1,829042

Nombre del Gráfico	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	89,92104	163,8805	89,92104	163,8805
	89,92104	0	0	163,8805
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	48	175,6	48	175,6
	48	0	0	175,6
Tiempo 10% (T10):	36,58554	56,14279	36,58554	56,14279
	36,58554	0	0	56,14279
Tiempo Medio (T50):	46,8014	162,2955	46,8014	162,2955
	46,8014	0	0	162,2955
Tiempo 90% (T90):	66,9165	115,4207	66,9165	115,4207
	66,9165	0	0	115,4207
Tiempo Final (tF):	113	0,01	113	0,01
	113	0	0	0,01

Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	0,406863	90	0,406863	90
	0,406863	0	0	90
t2/tO:	0,74417	10	0,74417	10
	0,74417	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, Sedimentador 1.

t_i/t_O:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P: 73 %	Condiciones a Flujo Pistón
t₅₀/t_O:	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M 27 :	Condiciones a Mezcla Completa
t_p/t_O:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m 45 :	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	55%	F 15 m :	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	F 41 p: %	Fracción Pistón

Límites 1, Sedimentador 1

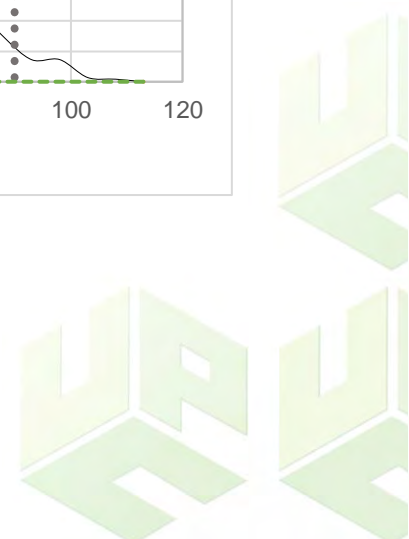
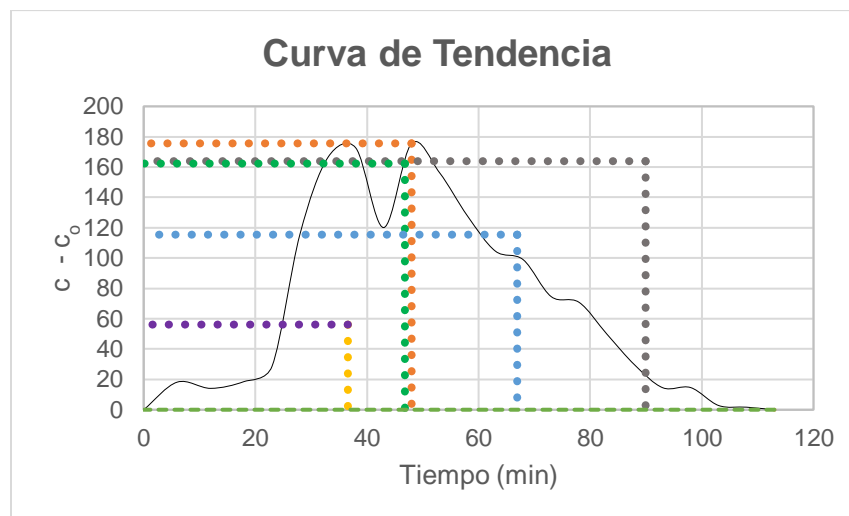
	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	5,05137	23	10

Límite Inferior:	3,230085	18	
Límite Superior:	52,67132	48	50
Límite Inferior:	41,52785	43	
Límite Superior:	97,86713	88	90
Límite Inferior:	96,00142	83	

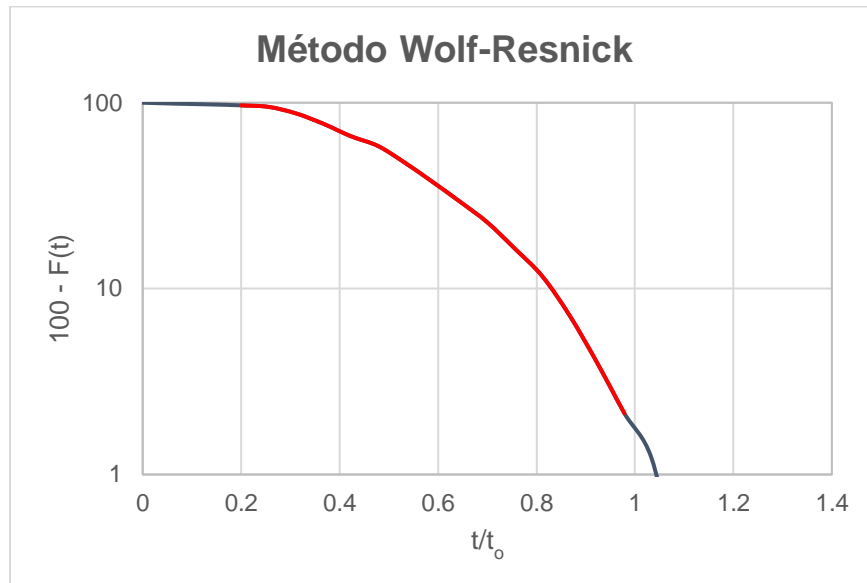
Límites 2, Sedimentador 1

	100	- t/to	
	F(t)		
Límite Superior:	94,94863	0,25578	90
Límite Inferior:	96,76992	0,200176	
Límite Superior:	2,132871	0,978636	10
Límite Inferior:	3,998579	0,923032	

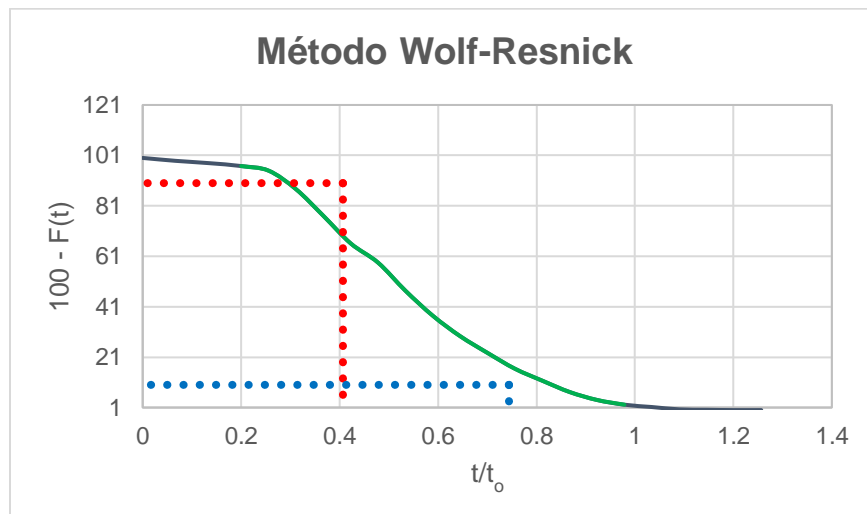
Curva de Tendencia



Método Wolf - Resnick 1, Sedimentador 1



Método Wolf - Resnick 2, Sedimentador 1



Sedimentador 2

Unidad:	Sedimentador 2		Tiempo	10%	23,81296	min
Caudal (Q):	104,52	L/s	(T₁₀):	Medio	42,7711	min
Volumen (V):	391,75	m ³	(T₅₀):	Tiempo 90% (T ₉₀):	80,63476	min
Concentración Inicial (C₀):	76	ms/cm	t _i /t ₀ :		0	
TRH Teórico (t₀):	62,46811	min	t ₅₀ /t ₀ :		0,684687	
Tiempo Inicial (t_i):	0	min	t _p /t ₀ :		0,60831	
Tiempo Pico (t_p):	38	min	t ₉₀ /t ₁₀ :		3,386171	
Tiempo Final (t_F):	113	min	e:		0,592302	

Tiempos teóricos, Flocculador 2

t₁/t₀:	0,381201947	P:	49%
t₂/t₀:	1,290814865	M:	51%
tan(θ):	1,099368732	m:	22%
θ:	0,381201947	F _m :	40%
		F _p :	38%

Tiempos, Sedimentador 2

N°	t (min)	c (ms/cm)	t/t₀	C - C₀	∑(C - C₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	12	12	0,496709	99,50329
2	6	104,1	0,096049	28,1	40,1	1,659837	98,34016
3	12	102,8	0,192098	26,8	66,9	2,769154	97,23085
4	18	109,9	0,288147	33,9	100,8	4,172358	95,82764
5	23	197,1	0,368188	121,1	221,9	9,184983	90,81502
6	28	274,9	0,448229	198,9	420,8	17,41794	82,58206
7	33	356	0,52827	280	700,8	29,00782	70,99218
8	38	357	0,60831	281	981,8	40,6391	59,3609
9	43	313	0,688351	237	1218,8	50,44911	49,55089
10	48	284,4	0,768392	208,4	1427,2	59,07529	40,92471
11	53	259,9	0,848433	183,9	1611,1	66,68736	33,31264
12	58	233,3	0,928474	157,3	1768,4	73,19839	26,80161
13	63	202,7	1,008515	126,7	1895,1	78,44282	21,55718

14	68	181,9	1,088555	105,9	2001	82,82628	17,17372
15	73	160,7	1,168596	84,7	2085,7	86,33222	13,66778
16	78	130,2	1,248637	54,2	2139,9	88,57569	11,42431
17	83	141,3	1,328678	65,3	2205,2	91,27861	8,721387
18	88	151,1	1,408719	75,1	2280,3	94,38718	5,612815
19	93	124,8	1,48876	48,8	2329,1	96,40714	3,592864
20	98	114,9	1,568801	38,9	2368	98,0173	1,982698
21	103	98,6	1,648841	22,6	2390,6	98,95277	1,047229
22	108	89,3	1,728882	13,3	2403,9	99,50329	0,496709
23	113	88	1,808923	12	2415,9	100	0

Sentido del Gráfico, Sedimentador 2

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
Nombre del Gráfico	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	62,46811	735,2238	62,46811	735,2238
	62,46811	0	0	735,2238
Tiempo Inicial (ti):	0	12	0	12
	0	0	0	12
Tiempo Pico (tp):	38	281	38	281
	38	0	0	281
Tiempo 10% (T10):	23,81296	135,2781	23,81296	135,2781
	23,81296	0	0	135,2781
Tiempo Medio (T50):	42,7711	239,0143	42,7711	239,0143
	42,7711	0	0	239,0143
Tiempo 90% (T90):	80,63476	60,04917	80,63476	60,04917
	80,63476	0	0	60,04917
Tiempo Final (tF):	113	12	113	12
	113	0	0	12
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	0,381202	90	0,381202	90
	0,381202	0	0	90
t2/tO:	1,290815	10	1,290815	10
	1,290815	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, Sedimentador 2.

t_i/t_o: **FLUJO MEZCLADO Y CORTO P: 49 Condiciones a Flujo**
CIRCUITO HIDRÁULICO % Pistón

t_{50}/t_0 :	EXISTEN HIDRÁULICOS	CORTOCIRCUITOS	M	51	Condiciones	a
			:	%	Mezcla Completa	
t_p/t_0 :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO		m	22	Volumen de Espacios	
			:	%	Muertos	
Eficiencia Volumétrica:	30%		F	40	Fracción	
			m	%	Mezclada	
			:			
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO		F	38	Fracción Pistón	
			p:	%		

Límites 1, Sedimentador 2

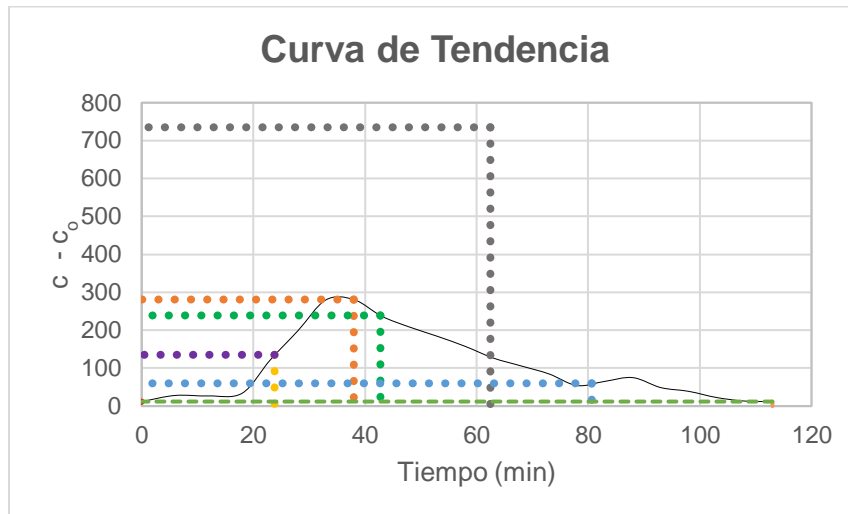
	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	9,184983	23	10
Límite Inferior:	4,172358	18	
Límite Superior:	50,44911	43	50
Límite Inferior:	40,6391	38	
Límite Superior:	91,27861	83	90
Límite Inferior:	88,57569	78	

Límites 2, Sedimentador 2

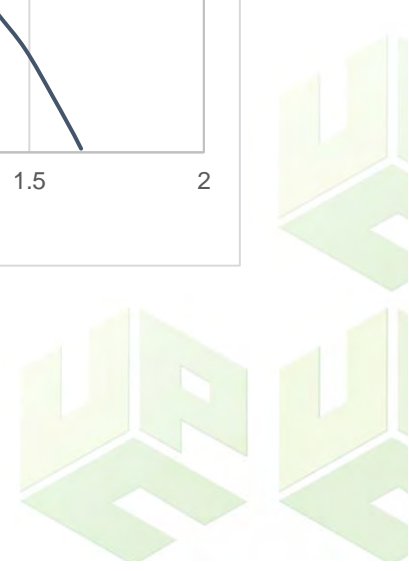
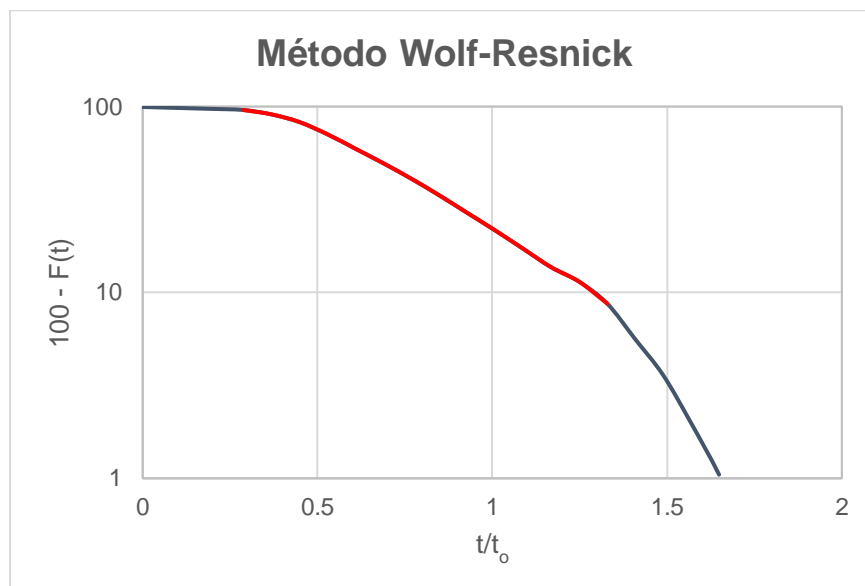
	100 - t/to		
	F(t)		
Límite Superior:	90,81502	0,368188	90
Límite Inferior:	95,82764	0,288147	
Límite Superior:	8,721387	1,328678	10
Límite Inferior:	11,42431	1,248637	



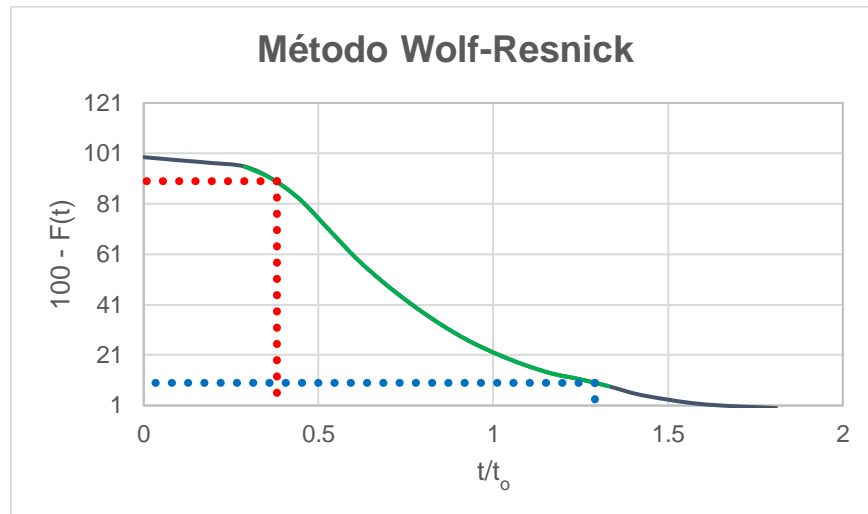
Curva de Tendencia, Sedimentador 2



Método Wolf - Resnick 1, Sedimentador 2



Método Wolf - Resnick 2, Sedimentador 2


Tabla 22.

Sedimentador 3

Unidad:	Sedimentador 3	Tiempo	10%	16,9601	min
Caudal (Q):	73,99	L/s	Tiempo Medio (T₅₀):	38,1054	min
Volumen (V):	391,75	m ³	Tiempo 90% (T₉₀):	82,34282	min
Concentración Inicial (C₀):	88	ms/cm	t_i/t₀:	0	
TRH Teórico (t₀):	88,24391	min	t₅₀/t₀:	0,431819	
Tiempo Inicial (t_i):	0	min	t_p/t₀:	0,317302	
Tiempo Pico (t_p):	28	min	t₉₀/t₁₀:	4,855092	
Tiempo Final (t_f):	113	min	e:	0,645937	

Tiempos teóricos, Sedimentador 3

t₁/t₀:	0,192195652	P:	37%
t₂/t₀:	0,933127534	M:	63%
tan(θ):	1,349651736	m:	49%
ø:	0,192195652	Fm:	32%
		Fp:	19%

Tiempos, Sedimentador 3

N°	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	∑(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	6	109,4	0,067993	21,4	21,4	3,971715	96,02828
3	12	106,4	0,135987	18,4	39,8	7,386648	92,61335
4	18	113	0,20398	25	64,8	12,0265	87,9735
5	23	140,5	0,260641	52,5	117,3	21,7702	78,2298
6	28	148,8	0,317302	60,8	178,1	33,05432	66,94568
7	33	133,3	0,373963	45,3	223,4	41,46174	58,53826
8	38	133,4	0,430625	45,4	268,8	49,88772	50,11228
9	43	116,7	0,487286	28,7	297,5	55,21427	44,78573
10	48	114,5	0,543947	26,5	324	60,13251	39,86749
11	53	115,6	0,600608	27,6	351,6	65,25491	34,74509
12	58	115,6	0,657269	27,6	379,2	70,37731	29,62269
13	63	114,8	0,71393	26,8	406	75,35124	24,64876
14	68	110,5	0,770591	22,5	428,5	79,52711	20,47289
15	73	109,3	0,827253	21,3	449,8	83,48026	16,51974
16	78	106,8	0,883914	18,8	468,6	86,96943	13,03057
17	83	110,5	0,940575	22,5	491,1	91,1453	8,854698
18	88	112,8	0,997236	24,8	515,9	95,74804	4,251963
19	93	104,7	1,053897	16,7	532,6	98,84746	1,15254
20	98	93,3	1,110558	5,3	537,9	99,83111	0,168891
21	103	88,6	1,167219	0,6	538,5	99,94247	0,057534
22	108	88,3	1,223881	0,3	538,8	99,99814	0,001856
23	113	88,01	1,280542	0,01	538,81	100	0

Sentido del gráfico, Sedimentador 3

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	88,24391	411,3415	88,24391	411,3415
	88,24391	0	0	411,3415
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	28	60,8	28	60,8
	28	0	0	60,8

Tiempo 10% (T10):	16,9601	19,28052	16,9601	19,28052
	16,9601	0	0	19,28052
Tiempo Medio (T50):	38,1054	45,04796	38,1054	45,04796
	38,1054	0	0	45,04796
Tiempo 90% (T90):	82,34282	16,62859	82,34282	16,62859
	82,34282	0	0	16,62859
Tiempo Final (tF):	113	0,01	113	0,01
	113	0	0	0,01
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	0,192196	90	0,192196	90
	0,192196	0	0	90
t2/tO:	0,933128	10	0,933128	10
	0,933128	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, Sedimentador 3.

t_i/t₀:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P: 37 %	Condiciones a Flujo Pistón
t₅₀/t₀:	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M 63 %	Condiciones a Mezcla Completa
t_p/t₀:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m 49 %	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	21%	F 32 %	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	F 19 p: %	Fracción Pistón

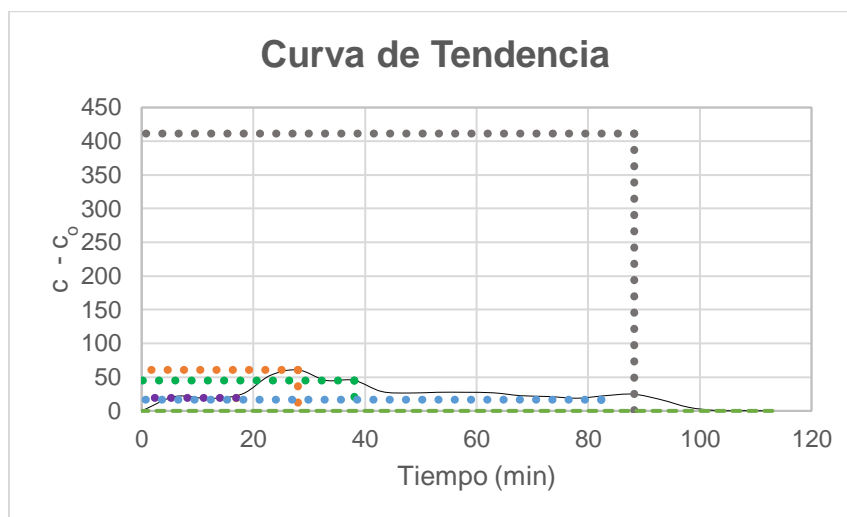
Límites 1, Sedimentador 3

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	21,7702	23	10
Límite Inferior:	12,0265	18	
Límite Superior:	55,21427	43	50
Límite Inferior:	49,88772	38	
Límite Superior:	86,96943	78	90
Límite Inferior:	83,48026	73	

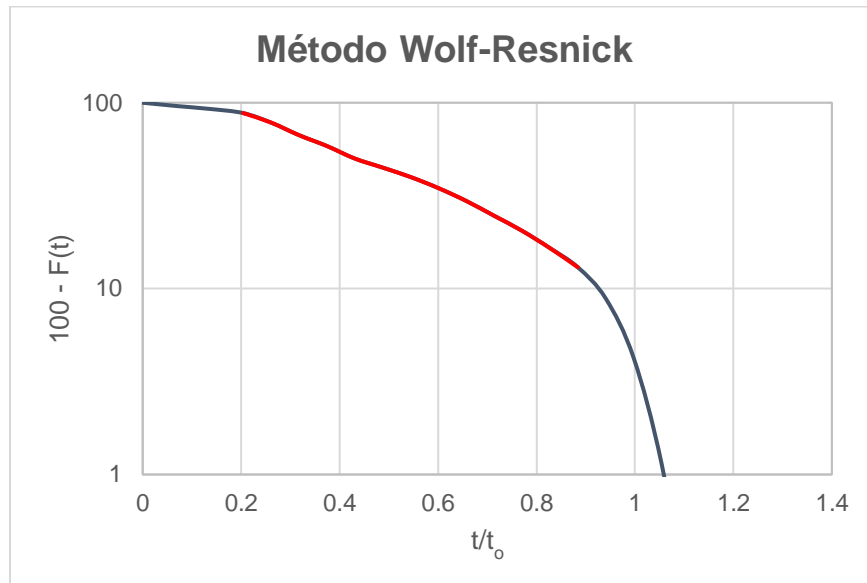
Límites 2, Sedimentador 3

	100	- t/to	
	F(t)		
Límite Superior:	78,2298	0,260641	90
Límite Inferior:	87,9735	0,20398	
Límite Superior:	13,03057	0,883914	10
Límite Inferior:	16,51974	0,827253	

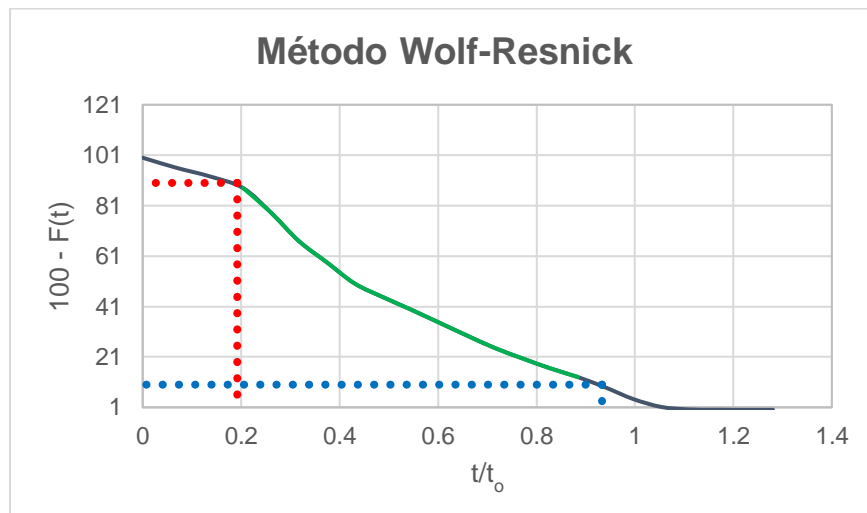
Curva de Tendencia



Método Wolf - Resnick 1, Sedimentador 3



Método Wolf - Resnick 2, Sedimentador 3



Sedimentador 4

Unidad:	Sedimentador 4	Tiempo	10%	30,52771	min
		(T₁₀):			

Caudal (Q):	68,27	L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	42,77753	min
Volumen (V):	391,75	m ³	Tiempo 90% (T ₉₀):	64,7139	min
Concentración Inicial (C₀):	88	ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	95,63742	min	t ₅₀ /t ₀ :	0,447289	
Tiempo Inicial (t_i):	0	min	t _p /t ₀ :	0,397334	
Tiempo Pico (t_p):	38	min	t ₉₀ /t ₁₀ :	2,119841	
Tiempo Final (t_f):	113	min	e:	0,386878	

Tiempo teórico, Sedimentador 4

t₁/t₀:	0,319202542	P:	67%	OK
t₂/t₀:	0,676658747	M:	33%	
tan(θ):	2,797545503	m:	53%	OK
ø:	0,319202542	F_m:	16%	
		F_p:	32%	

Tiempos, Sedimentador 4

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	∑(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	6	95,1	0,062737	7,1	7,1	0,437443	99,56256
3	12	94,4	0,125474	6,4	13,5	0,831757	99,16824
4	18	98	0,188211	10	23,5	1,447873	98,55213
5	23	143,4	0,240492	55,4	78,9	4,861158	95,13884
6	28	224,8	0,292772	136,8	215,7	13,28963	86,71037
7	33	308	0,345053	220	435,7	26,84419	73,15581
8	38	325	0,397334	237	672,7	41,44615	58,55385
9	43	233,3	0,449615	145,3	818	50,39832	49,60168
10	48	269,5	0,501896	181,5	999,5	61,58083	38,41917
11	53	244,4	0,554176	156,4	1155,9	71,21689	28,78311
12	58	213,6	0,606457	125,6	1281,5	78,95531	21,04469
13	63	183,5	0,658738	95,5	1377	84,83922	15,16078
14	68	159	0,711019	71	1448	89,21365	10,78635
15	73	143,7	0,7633	55,7	1503,7	92,64542	7,354581
16	78	137,8	0,81558	49,8	1553,5	95,71368	4,286322
17	83	122,9	0,867861	34,9	1588,4	97,86392	2,136075

18	88	107,8	0,920142	19,8	1608,2	99,08383	0,916165
19	93	98,9	0,972423	10,9	1619,1	99,7554	0,244598
20	98	90,7	1,024704	2,7	1621,8	99,92175	0,078247
21	103	89	1,076984	1	1622,8	99,98336	0,016635
22	108	88,2	1,129265	0,2	1623	99,99569	0,004313
23	113	88,07	1,181546	0,07	1623,07	100	-1,4E-14

Sentido del gráfico sedimentador 4

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
Nombre del Gráfico	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	95,63742	714,9478	95,63742	714,9478
	95,63742	0	0	714,9478
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	38	237	38	237
	38	0	0	237
Tiempo 10% (T10):	30,52771	123,7516	30,52771	123,7516
	30,52771	0	0	123,7516
Tiempo Medio (T50):	42,77753	149,3801	42,77753	149,3801
	42,77753	0	0	149,3801
Tiempo 90% (T90):	64,7139	89,39259	64,7139	89,39259
	64,7139	0	0	89,39259
Tiempo Final (tF):	113	0,07	113	0,07
	113	0	0	0,07
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	0,319203	90	0,319203	90
	0,319203	0	0	90
t2/tO:	0,676659	10	0,676659	10
	0,676659	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, Sedimentador 4.

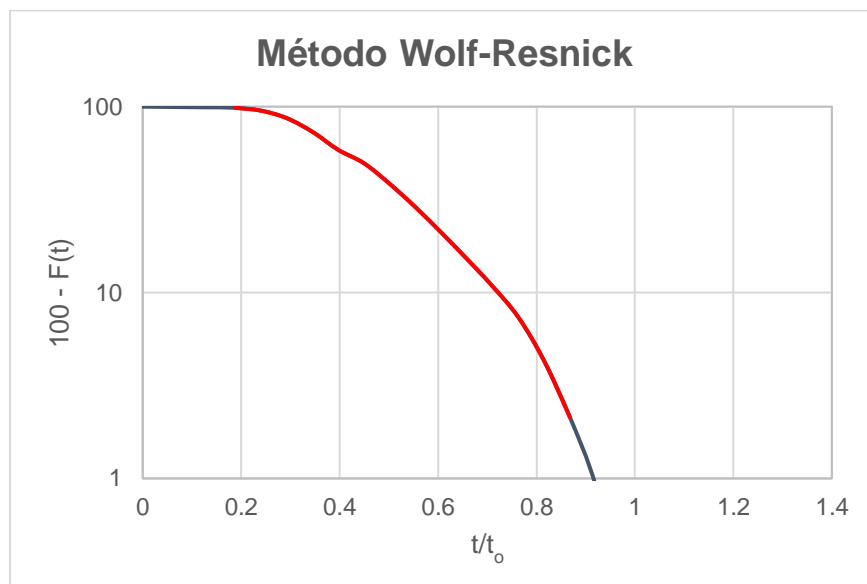
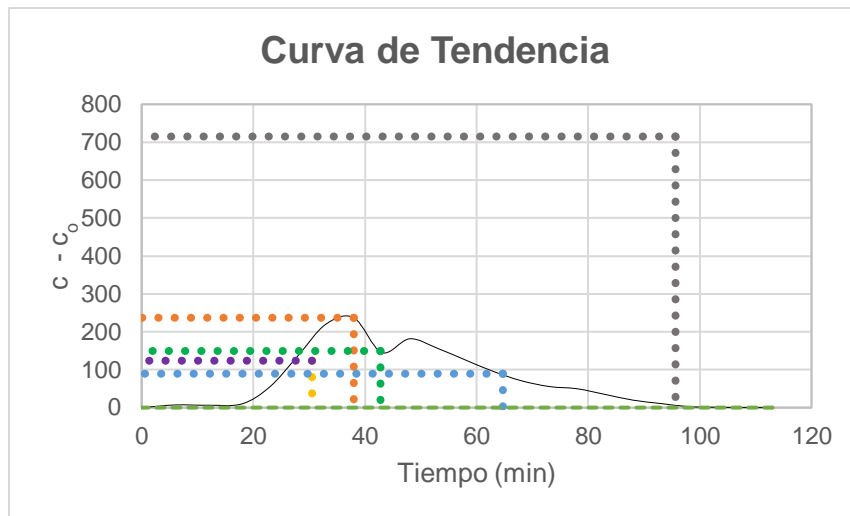
t_i/t_o:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P: 67 %	Condiciones a Flujo Pistón
t₅₀/t_o:	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M 33 %	Condiciones a Mezcla Completa
t_p/t_o:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m 53 %	Volumen de Espacios Muertos

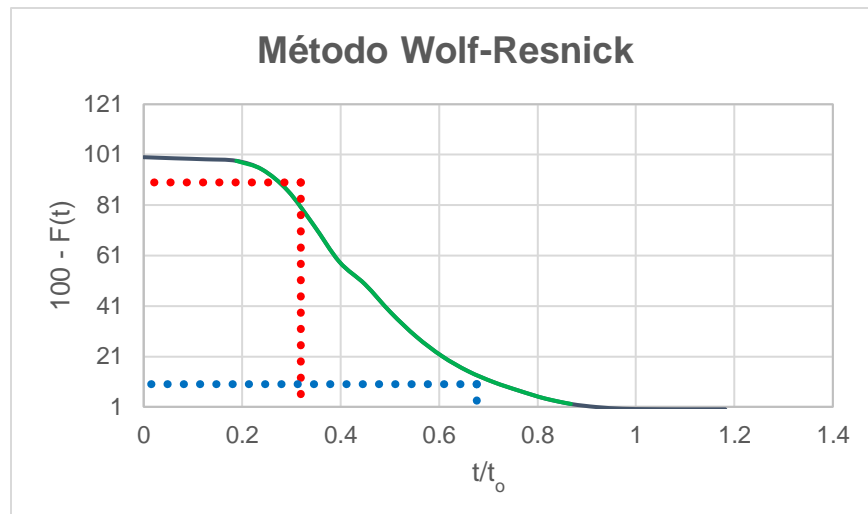
Eficiencia Volumétrica:	47%	F	16	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	m	%	
Figura 58.		:		
		F	32	Fracción Pistón
		p:	%	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	4,861158	23	10
Límite Inferior:	1,447873	18	
Límite Superior:	50,39832	43	50
Límite Inferior:	41,44615	38	
Límite Superior:	97,86392	83	90
Límite Inferior:	95,71368	78	

	100 F(t)	- t/to	
Límite Superior:	95,13884	0,240492	90
Límite Inferior:	98,55213	0,188211	
Límite Superior:	2,136075	0,867861	10
Límite Inferior:	4,286322	0,81558	







Unidad:	Sedimentador 5	Tiempo	10%	22,22328	min
Caudal (Q):	337,79	L/s	Tiempo	Medio	37,41578 min
Volumen (V):	391,75	m ³	Tiempo 90% (T ₉₀):	59,03878	min
Concentración Inicial (C₀):	88	ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	19,32907	min	t ₅₀ /t ₀ :	1,935726	
Tiempo Inicial (t_i):	0	min	t _p /t ₀ :	1,707273	
Tiempo Pico (t_p):	33	min	t ₉₀ /t ₁₀ :	2,656618	
Tiempo Final (t_F):	113	min	e:	2,431571	

t₁/t₀:	1,149733694	P:	58%	OK
t₂/t₀:	3,054403264	M:	42%	
tan(θ):	0,525025451	m:	0%	OK
θ:	1,149733694	F _m :	42%	
		F _p :	58%	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	∑(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	6	120,9	0,310413	32,9	32,9	2,201995	97,79801
3	12	108,7	0,620827	20,7	53,6	3,587444	96,41256
4	18	165,3	0,93124	77,3	130,9	8,761127	91,23887
5	23	136,6	1,189918	48,6	179,5	12,01392	87,98608
6	28	281,7	1,448595	193,7	373,2	24,97825	75,02175
7	33	304	1,707273	216	589,2	39,43511	60,56489
8	38	263,4	1,965951	175,4	764,6	51,17462	48,82538
9	43	238,2	2,224628	150,2	914,8	61,22749	38,77251
10	48	213,4	2,483306	125,4	1040,2	69,62051	30,37949
11	53	192,8	2,741984	104,8	1145	76,63476	23,36524
12	58	178,5	3,000662	90,5	1235,5	82,69192	17,30808
13	63	164	3,259339	76	1311,5	87,7786	12,2214
14	68	143,5	3,518017	55,5	1367	91,49321	8,506793
15	73	128,8	3,776695	40,8	1407,8	94,22395	5,776052
16	78	117,8	4,035373	29,8	1437,6	96,21846	3,781541
17	83	112,5	4,29405	24,5	1462,1	97,85824	2,141758
18	88	106,8	4,552728	18,8	1480,9	99,11652	0,883475
19	93	96,7	4,811406	8,7	1489,6	99,69882	0,301185
20	98	90,2	5,070083	2,2	1491,8	99,84606	0,153939
21	103	89	5,328761	1	1492,8	99,91299	0,087009
22	108	88,9	5,587439	0,9	1493,7	99,97323	0,026772
23	113	88,4	5,846117	0,4	1494,1	100	1,42E-14

Sentido del gráfico, Sedimentador 5

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - C ₀	t (min)	C - C ₀
TRH Teórico (tO):	19,32907	-57,9304	19,32907	-57,9304
	19,32907	0	0	-57,9304
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	33	216	33	216
	33	0	0	216
Tiempo 10% (T10):	22,22328	26,05969	22,22328	26,05969
	22,22328	0	0	26,05969
Tiempo Medio (T50):	37,41578	178,3445	37,41578	178,3445
	37,41578	0	0	178,3445
Tiempo 90% (T90):	59,03878	49,8989	59,03878	49,8989
	59,03878	0	0	49,8989

Tiempo Final (tF):	113	0,4	113	0,4
	113	0	0	0,4
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	1,149734	90	1,149734	90
	1,149734	0	0	90
t2/tO:	3,054403	10	3,054403	10
	3,054403	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, Sedimentador 5.

t_i/t_o:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO	P: 58	Condiciones a Flujo
	CIRCUITO HIDRÁULICO	% 42	Pistón
t₅₀/t_o:	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M	Condiciones a
		:	% Mezcla Completa
t_p/t_o:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m	0 Volumen de Espacios
		:	% Muertos
Eficiencia Volumétrica:	38%	F	42 Fracción Mezclada
		m	% Mezclada
		:	
Excentricidad de la Curva:	FLUJO MEZCLADO IDEAL	F	58 Fracción Pistón
		p:	%

Sedimentador 6

Unidad:	Sedimentador 6	Tiempo 10% (T₁₀):	17,64534 min
Caudal (Q):	187,34 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	39,96418 min
Volumen (V):	391,75 m ³	Tiempo 90% (T ₉₀):	60,10201 min
Concentración Inicial (C_o):	88 ms/cm	t _i /t _o :	0
TRH Teórico (t_o):	34,85196 min	t ₅₀ /t _o :	1,146684
Tiempo Inicial (t_i):	0 min	t _p /t _o :	1,090326
Tiempo Pico (t_p):	38 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,406112
Tiempo Final (t_f):	113 min	e:	1,061633

Tiempos Teóricos, Sedimentador 6.

t₁/t_o: 0,506293984 P: 49% OK

t_2/t_0 :	1,724494182	M:	51%	
$\tan(\theta)$:	0,820883137	m:	0%	OK
θ :	0,506293984	Fm:	51%	
		Fp:	49%	

Tiempos, Sedimentador 6.

N°	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	$\sum(C - C_0)$	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	6	154,7	0,172157	66,7	66,7	3,52109	96,47891
3	12	152,1	0,344313	64,1	130,8	6,904925	93,09507
4	18	155	0,51647	67	197,8	10,44185	89,55815
5	23	206	0,659934	118	315,8	16,67107	83,32893
6	28	285,8	0,803398	197,8	513,6	27,11292	72,88708
7	33	248,3	0,946862	160,3	673,9	35,57515	64,42485
8	38	292,7	1,090326	204,7	878,6	46,38125	53,61875
9	43	262,5	1,23379	174,5	1053,1	55,5931	44,4069
10	48	248,5	1,377254	160,5	1213,6	64,06588	35,93412
11	53	246,4	1,520718	158,4	1372	72,42781	27,57219
12	58	247,6	1,664182	159,6	1531,6	80,85309	19,14691
13	63	202,1	1,807646	114,1	1645,7	86,87642	13,12358
14	68	170,2	1,95111	82,2	1727,9	91,21575	8,784247
15	73	132,8	2,094574	44,8	1772,7	93,58074	6,419258
16	78	127,2	2,238038	39,2	1811,9	95,65011	4,349892
17	83	117,9	2,381501	29,9	1841,8	97,22853	2,771472
18	88	103,6	2,524965	15,6	1857,4	98,05205	1,947949
19	93	100	2,668429	12	1869,4	98,68553	1,31447
20	98	101	2,811893	13	1882,4	99,3718	0,6282
21	103	97	2,955357	9	1891,4	99,84691	0,153091
22	108	90,9	3,098821	2,9	1894,3	100	0
23	113	88	3,242285	0	1894,3	100	0

Sentido del Gráfico, Sedimentador 6

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - C ₀	t (min)	C - C ₀
TRH Teórico (tO):	34,85196	146,4103	34,85196	146,4103

	34,85196	0	0	146,4103
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	38	204,7	38	204,7
	38	0	0	204,7
Tiempo 10% (T10):	17,64534	63,38246	17,64534	63,38246
	17,64534	0	0	63,38246
Tiempo Medio (T50):	39,96418	192,8363	39,96418	192,8363
	39,96418	0	0	192,8363
Tiempo 90% (T90):	60,10201	72,49027	60,10201	72,49027
	60,10201	0	0	72,49027
Tiempo Final (tF):	113	0	113	0
	113	0	0	0
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	0,506294	90	0,506294	90
	0,506294	0	0	90
t2/tO:	1,724494	10	1,724494	10
	1,724494	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, Sedimentador 6.

t_i/t_o:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO	P: 49	Condiciones a Flujo
	CIRCUITO HIDRÁULICO	%	Pistón
t₅₀/t_o:	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M 51	Condiciones a
		: %	Mezcla Completa
t_p/t_o:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m 0	Volumen de Espacios
		: %	Muertos
Eficiencia Volumétrica:	29%	F 51	Fracción
		m %	Mezclada
		:	
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	F 49	Fracción Pistón
		p: %	

Sedimentador 7

Unidad:	Sedimentador 7	Tiempo 10%	26,92949 min
		(T₁₀):	
Caudal (Q):	546,93 L/s	Tiempo Medio	45,05672 min
		(T₅₀):	

Volumen (V):	391,75	m ³	Tiempo 90% (T₉₀):	62,24351	min
Concentración Inicial (C₀):	88	ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	11,93785	min	t ₅₀ /t ₀ :	3,774275	
Tiempo Inicial (t_i):	0	min	t _p /t ₀ :	4,020826	
Tiempo Pico (t_p):	48	min	t ₉₀ /t ₁₀ :	2,311351	

Tiempos teóricos, Sedimentador 7.

t₁/t₀:	2,255807697	P:	64%	OK
t₂/t₀:	5,213964162	M:	36%	
tan(θ):	0,33804838	m:	0%	OK
ø:	2,255807697	Fm:	36%	
		Fp:	64%	

Tiempos, Sedimentador 7

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	∑(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	6	95,6	0,502603	7,6	7,6	0,583516	99,41648
3	12	97,4	1,005206	9,4	17	1,305232	98,69477
4	18	110,7	1,50781	22,7	39,7	3,048102	96,9519
5	23	138,7	1,926646	50,7	90,4	6,940765	93,05923
6	28	184,8	2,345482	96,8	187,2	14,37291	85,62709
7	33	234,7	2,764318	146,7	333,9	25,6363	74,3637
8	38	213,1	3,183154	125,1	459	35,24128	64,75872
9	43	224,2	3,60199	136,2	595,2	45,69849	54,30151
10	48	241,8	4,020826	153,8	749	57,50701	42,49299
11	53	239,4	4,439662	151,4	900,4	69,13125	30,86875
12	58	199,9	4,858498	111,9	1012,3	77,72275	22,27725
13	63	173,3	5,277334	85,3	1097,6	84,27195	15,72805
14	68	154	5,696169	66	1163,6	89,33932	10,66068
15	73	137,4	6,115005	49,4	1213	93,13217	6,867826
16	78	120	6,533841	32	1245	95,58908	4,410918
17	83	111,1	6,952677	23,1	1268,1	97,36266	2,637337
18	88	103,4	7,371513	15,4	1283,5	98,54505	1,45495
19	93	96,8	7,790349	8,8	1292,3	99,2207	0,779301
20	98	95,95	8,209185	7,95	1300,25	99,83109	0,168912
21	103	89,4	8,628021	1,4	1301,65	99,93858	0,061423
22	108	88,7	9,046857	0,7	1302,35	99,99232	0,007678
23	113	88,1	9,465693	0,1	1302,45	100	0

Sentido del Gráfico, Sedimentador 7.

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
Nombre del Gráfico	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	11,93785	-63,5003	11,93785	-63,5003
	11,93785	0	0	-63,5003
Tiempo Inicial (ti):	0	0	0	0
	0	0	0	0
Tiempo Pico (tp):	48	153,8	48	153,8
	48	0	0	153,8
Tiempo 10% (T10):	26,92949	72,70513	26,92949	72,70513
	26,92949	0	0	72,70513
Tiempo Medio (T50):	45,05672	140,7659	45,05672	140,7659
	45,05672	0	0	140,7659
Tiempo 90% (T90):	62,24351	60,04656	62,24351	60,04656
	62,24351	0	0	60,04656
Tiempo Final (tF):	113	0,1	113	0,1
	113	0	0	0,1
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	2,255808	90	2,255808	90
	2,255808	0	0	90
t2/tO:	5,213964	10	5,213964	10
	5,213964	0	0	10

Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, Sedimentador 7.

t_i/t_o:	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P: 64 %	Condiciones a Flujo Pistón
t₅₀/t_o:	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M : 36 %	Condiciones a Mezcla Completa
t_p/t_o:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m : 0 %	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	43%	F : 36 %	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	p : 64 %	Fracción Pistón

Figura 59.

Sedimentador 8

Unidad:	Sedimentador 8		Tiempo	10%	106,5726	min
Caudal (Q):	110,56	L/s	(T₁₀):	Medio	50,53451	min
Volumen (V):	391,75	m ³	(T₅₀):			
Concentración Inicial (C₀):	88	ms/cm	Tiempo 90% (T₉₀):		79,55499	min
TRH Teórico (t₀):	59,05541	min	t _i /t ₀ :		0,101599	
Tiempo Inicial (t_i):	6	min	t ₅₀ /t ₀ :		0,855713	
Tiempo Pico (t_p):	48	min	t _p /t ₀ :		0,812796	
Tiempo Final (t_f):	113	min	t ₉₀ /t ₁₀ :		0,746486	
			e:		0,389465	

Tiempos teóricos, Sedimentador 8

t₁/t₀:	1,804619964	P:	112%
t₂/t₀:	1,347124392	M:	-12%
tan(θ):	-2,185813503	m:	0%
θ:	1,804619964	Fm:	-12%
		Fp:	112%

Tiempos, Sedimentador 8

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t₀	C - C₀	∑(C - C₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	88	0	0	0	0	100
2	6	85,6	0,101599	-2,4	-2,4	-0,209	100,209
3	12	91,5	0,203199	3,5	1,1	0,095794	99,90421
4	18	91,9	0,304798	3,9	5	0,435426	99,56457
5	23	94,2	0,389465	6,2	11,2	0,975355	99,02465
6	28	110,9	0,474131	22,9	34,1	2,969607	97,03039
7	33	154,9	0,558797	66,9	101	8,795611	91,20439
8	38	197,9	0,643463	109,9	210,9	18,36628	81,63372
9	43	232,9	0,72813	144,9	355,8	30,98493	69,01507
10	48	233	0,812796	145	500,8	43,6123	56,3877
11	53	216,5	0,897462	128,5	629,3	54,80275	45,19725
12	58	199,8	0,982128	111,8	741,1	64,53888	35,46112
13	63	181,6	1,066795	93,6	834,7	72,69006	27,30994

14	68	162,1	1,151461	74,1	908,8	79,14308	20,85692
15	73	148,3	1,236127	60,3	969,1	84,39432	15,60568
16	78	137,1	1,320793	49,1	1018,2	88,67021	11,32979
17	83	128,3	1,40546	40,3	1058,5	92,17974	7,820256
18	88	121,5	1,490126	33,5	1092	95,0971	4,9029
19	93	113	1,574792	25	1117	97,27423	2,725769
20	98	105	1,659458	17	1134	98,75468	1,245319
21	103	99,4	1,744125	11,4	1145,4	99,74745	0,252547
22	108	90,2	1,828791	2,2	1147,6	99,93904	0,06096
23	113	88,7	1,913457	0,7	1148,3	100	0

Sentido del Gráfico, Sedimentador 8

Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
Nombre del Gráfico	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (tO):	59,05541	296,1877	59,05541	296,1877
	59,05541	0	0	296,1877
Tiempo Inicial (ti):	6	-2,4	6	-2,4
	6	0	0	-2,4
Tiempo Pico (tp):	48	145	48	145
	48	0	0	145
Tiempo 10% (T10):	106,5726	44,64339	106,5726	44,64339
	106,5726	0	0	44,64339
Tiempo Medio (T50):	50,53451	197,6415	50,53451	197,6415
	50,53451	0	0	197,6415
Tiempo 90% (T90):	79,55499	45,61682	79,55499	45,61682
	79,55499	0	0	45,61682
Tiempo Final (tF):	113	0,7	113	0,7
	113	0	0	0,7
Nombre del Gráfico	t/tO	100 - F(t)	t/tO	100 - F(t)
t1/tO:	1,80462	90	1,80462	90
	1,80462	0	0	90
t2/tO:	1,347124	10	1,347124	10
	1,347124	0	0	10


Inferencias de los resultados calculados a partir del índice de Morrill y Método Wolff – Resnick, Sedimentador 7.

t_i/t_o: **FALSO** P: **112** **Condiciones** a **Flujo**
 % **Pistón**

t₅₀/t₀:	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M:	- 12%	Condiciones a Mezcla Completa
t_p/t₀:	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	0%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	134%	F m:	- 12%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	F _p :	112 %	Fracción Pistón



Anexo D. Autorización de Ingreso a la PTAP

	PROCESO GESTION DOCUMENTAL E INFORMACION	FO-GO-06
	COMUNICACION INTERNA	Versión: 03-05-09-18
		Página: 1 de 1

DT-DP-159

FECHA: DD 15 MM 11 AA 2021

DE: LUIS EDUARDO SANTIAGO JACOME
Jefe División de Producción

PARA: CELADORES O PORTEROS

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE INGRESO A LA PTAP

Cordial saludo:


Mediante la presente, me permito autorizar el ingreso a la PTAP de los señores tesisistas de la Universidad Popular del Cesar del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria que se relacionan a continuación:

- CARLOS ANDRES CONTRERAS CARO identificado con cedula de ciudadanía numero 1.003.381.796
- DEIVER ANDRES SEPULVEDA HERRERA identificado con cedula de ciudadanía numero 1.003.381.322

Agradeciéndole la atención a la presente,

Atentamente,

LUIS EDUARDO SANTIAGO JACOME
Jefe División de Producción

	Nombre	Cargo	Firma
Elaborado por:	JOSE J ZABALETA DAZA	Profesional Universitario	
Proyectado por:	JOSE J ZABALETA DAZA	Profesional Universitario	
Revisado por:	LUIS E SANTIAGO JACOME	Jefe División Producción	

Los amba firmantes declaramos que hemos revisado el presente documento y lo encontramos ajustado a las normas y disposiciones legales vigentes y por lo tanto, bajo nuestra responsabilidad, lo presentamos para la firma de: (Cargo Remitente).

Anexo E. Solicitud formal a la empresa Emdupar S.A

Valledupar, 10 de marzo de 2021

Señor
LUIS SANTIAGO JACOME
Jefe de División de Producción
EMDUPAR S.A. E.S.P.
Dirección: Calle 15 No. 15 – 40 Barrio Alfonso López
Valledupar - Cesar

Asunto: Solicitud formal


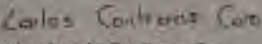
Cordial Saludo,

Muy respetuosamente nos dirigimos ante usted, Deliver Andrés Sepúlveda Herrera identificado con CC 1.003.381.322 Y Carlos Andrés Contreras Caro identificado con CC 1.003.381.796, para exponerle:

Que actualmente cursamos últimos semestres del programa de ingeniería ambiental y sanitaria en la Universidad Popular del Cesar, solicitamos a usted de la manera más comedida, se considere la petición de permitirnos usar la planta de tratamiento de agua potable la Huercía con el fin de elaborar con opción de grado, EL PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA DE EVALUACIÓN HIDRÁULICA, por lo cual será necesario la información suficiente y necesaria para desarrollarlo, de acuerdo a las necesidad que requiere la empresa; así también la toma de evidencias y trabajo de campo.

Agradecemos su atención y colaboración.

Atentamente

 Deliver Andrés Sepúlveda Herrera Estudiante Ing. Ambiental y Sanitaria dssepulveda@unicesar.edu.co CC 1.003.381.322 Teléfono: 3155675105	 Carlos Andrés Contreras Caro Estudiante Ing. Ambiental y Sanitaria carlosandrescontreras@unicesar.edu.co CC 1.003.381.796 Teléfono: 3234862369
--	---